

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Calibração automática de Sistema de Visão para aplicações em desporto

Luís Manuel Queirós Martins

VERSÃO PROVISÓRIA

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Major
Automação

Orientador: Armando Sousa (Professor Doutor)

Co-orientador: Catarina Santiago (Eng.^a)

Junho de 2011

Resumo

A localização e/ou o mapeamento automático de pessoas e de objectos com o suporte de novas tecnologias são, na actualidade importantes. Vários sistemas, permitem ao utilizador controlar, gerir, detectar e prever situações que, normalmente, poderiam não ser observadas e dificilmente seriam objecto de monitorização. Esta tecnologia, face aos resultados positivos alcançados, é actualmente utilizada em múltiplas situações de entre as quais se sublinha, pela adesão e pelo sucesso alcançado, as competições de Futebol Robótico, como por exemplo a denominada liga dos robots mais pequenos (Small Sise League) com a designação «5dpo».

No Futebol Robótico são utilizados sensores normalmente câmaras e outro tipo de hardware implementados no corpo do robot, para permitir obter a localização em tempo real.

Baseado nestas técnicas já com níveis significativos de difusão, um dos próximos passos poderá passar por projectar a tecnologia em actividades da sociedade civil, como por exemplo em actividades desportivas.

Nestas actividades, entre diferentes aspectos a coerência e a concentração das equipas de arbitragem são postas constante e sucessivamente em causa, permitindo, muito possivelmente, obter um contributo viável e válido para aumentar a objectividade das decisões, ajudando a actividade desportiva a manter-se credível, por estar assente em juízos imparciais.

De qualquer forma, é importante não esquecer que muitas das actividades desportivas praticadas em sociedades mais emocionais como a portuguesa, por isso menos permeáveis à racionalidade que caracteriza outras sociedades como as anglo-saxónicas, vivem e são alimentadas pela discussão das decisões, boas ou más, tomadas pelas equipas de arbitragem. Por isso o sucesso de alguns processos de penetração tecnológica poderão levar algum tempo até serem amplamente disponibilizados e aceites.

O trabalho que é apresentado e que tem como referencial e objectivo de pesquisa o quadro enunciado, incide assim na calibração automática dos meios fotográficos utilizados actualmente em eventos desportivos implicando a necessidade na detecção de pontos de interesse (PI's) nos recintos desportivos e terreno de jogo escolhido. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho vai ser assim explicada a relação próxima entre a necessidade da localização e identificação de PI's tal como dos parametros intrinsecos e extrinsecos calibração da câmara. O sistema permitirá extrair, posteriormente, informação projectada a duas dimensões com origem numa imagem a três dimensões, funcionando o sistema como um sensor não intrusivo. Com a ajuda da vasta literatura produzida ao longo da ultima década no âmbito da calibração e na área do processamento de imagem será possível desenvolver um sistema capaz de detectar os PI's e de obter imagens com uma relação bastante precisa com o mundo real.

Neste projecto serão utilizadas imagens obtidas por câmaras de modelo «pinhole», por terem um grande ângulo de captação de imagem, serem câmaras de tamanho relativamente reduzido e de terem a capacidade de produzir imagens de boa qualidade.

Abstract

The location and/or automatic mapping of people and objects with the support of new technologies are, at present, important, and in different circumstances, even essential. Several systems allow the user to control, manage, detect and predict situations that normally could not be observed and hardly monitored. This technology, given the positive results achieved, is currently used in multiple situations which are being stressed by the membership and the success achieved, Robotic Soccer competitions such as the so-called league of smaller robots (Small Sise League) under the name '5dpo. "

In Robotic Soccer sensors are typically used cameras and other hardware typically implemented in the body of the robot, to allow determinate his location in real time.

Based on these techniques already with significant levels of diffusion, one of the next steps can be for designing the technology in civil society activities, such as in sports.

As is known, these activities, the coherence between different aspects of concentration and match officials are constantly put in question and in turn, allows, very possibly get a feasible and valid contribution to increase the objectivity of the decisions, helping to keep the sport credible, based on impartial judgments.

Anyway, it is important to remember that many of the sports practiced in societies more emotional as the Portuguese, the less permeable rationality that characterizes other societies such as Anglo-Saxon, live and are fed by the discussion of the decisions, good or bad, taken by the officials referees. Therefore the success of some processes of technological penetration may take some time before they are widely available and accepted.

The work wich is presented and have like a referential and objective research framework statement, which thus in automatic calibration of photographic media currently used in sports events involving the need to detect points of interest (POI's) in sports grounds and playing field chosen. Throughout the development of this work will be thus explained the close relationship between the need for "discovery" of IP's and camera's calibration. The system will extract, then projected the information originating from a two-dimensional image in three dimensions, running the system as a non-intrusive sensor. With the help of the vast literature produced over the last decade in the area of calibration and image processing will be possible to develop a system capable of detecting the IP's and to obtain images with a very precise relationship with the real world.

This project will use images taken by camera model "pinhole" for having a wide-angle image capture, cameras are relatively small in size and have the ability to produce good quality images.

Conteúdo

1	Introdução	
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objectivos.....	1
1.3	Organização do documento.....	2
2	Revisão Literária	
2.1	Breve História da Calibração de Lentes.....	4
2.1.1	Parâmetros Intrínsecos	5
2.1.2	Parâmetros Extrínsecos.....	7
2.2	Distorção.....	7
2.2.1	Origem da Distorção.....	7
2.2.2	Modelos De Distorção.....	8
2.2.2.1	Distorção em Barril.....	9
2.2.2.2	Distorção Pincushion.....	10
2.3	Métodos de Aproximação a Curvas	10
2.4	Sistemas de Visão em Desportos.....	12
2.4.1	Métodos de Aquisição de Imagens.....	13
2.5	Andebol.....	14
2.6	Bibliotecas e Software Utilizado.....	15
2.6.1	OpenCV – Livraria de Programação para Visão Computacional.....	15
2.6.1.1	Calibração de Câmara.....	15
2.6.1.2	Técnicas de Detecção de Características.....	15
2.6.1.3	Funções de Desenho.....	15
3	Pré-Processamento de Imagem	
3.1	Introdução.....	17
3.2	Conversão RGB a Tons Cinzento.....	17
3.3	Segmentação de Imagens.....	18
3.4	Extracção de Contornos.....	19
3.4.1	Algoritmo de Canny.....	19
3.4.2	Configuração da função cvCanny.....	20
3.4.3	Imagens Obtidas.....	20
3.5	Correcção de Imagem.....	21
3.5.1	Dilatação	21

3.5.2 - Erosão.....	21
3.5.3 – Configuração das Funções cvDilate e cvErode.....	22
3.5.4– Imagens Obtidas.....	22
4 Detecção de Pontos e Circulos Interessantes	
4.1 Introdução.....	24
4.2 Definição de Shi and Tomasi[12].....	24
4.2.1 – Configuração da função cvGoodFeaturesToTrack.....	24
4.2.2 – Imagens Obtidas.....	25
4.3 Detector de Harris[13].....	26
4.3.1 - Introdução.....	26
4.3.2 - Configuração da função cvCornerHarris.....	26
4.3.3 – Imagens Obtidas.....	27
4.4 Detecção de Pontos Através de Contornos.....	28
4.4.1 – Introdução.....	28
4.4.2 – Extração de Contornos.....	28
4.4.2.1 - Configuração da função cvFindContours.....	29
4.4.3 – Identificação de Polígonos em Contornos.....	29
4.4.3.1 – Configuração da função cvApproxPoly e cvDrawContours.....	31
4.4.3.2– Imagens Obtidas.....	31
4.4.4 – Localização de Contornos.....	31
4.4.4.1 – Configuração cvMinEnclosingCircle.....	32
4.4.4.2 – Imagens Obtidas.....	32
4.4.5– Detecção de Pontos Interessantes.....	34
4.4.5.1- Algoritmo Criado.....	36
4.5 Detecção de Círculos.....	37
4.5.1– Introdução.....	37
4.5.2 – Gradiente de Hough	37
4.5.3 – Configuração cvHoughCircle.....	37
4.5.4– Imagens Obtidas.....	38
5 Reconhecimento de Pontos Interessantes	
5.1 Introdução.....	40
5.2 Localização Quartos Circulo da Linha de 6 metros.....	40
5.2.1– Limiar de Raio dos Círculos.....	40
5.2.2– cvGoodFeaturesToTrack vs cvHoughCircle.....	40
5.2.2.1 – Índices dos Pontos Cada Circulo.....	41
5.2.2.2 – Determinação dos 3 melhores Pontos da Circunferência.....	41
5.2.3 – Círculos Secantes.....	42
5.2.4 – Identificação de Pontos Muito Interessantes (PMI'S).....	42
5.2.5– Imagens Obtidas.....	43
5.3 Detecção de Cantos.....	44
5.3.1– Pontos Sequenciais.....	44
5.3.1.1– Imagens Obtidas.....	44
5.3.2– Varrimento de Imagem.....	45
5.3.2.1– Imagens Obtidas.....	46
5.3.3– Correção de Imagem.....	46
5.3.3.1– Determinação dos Parâmetros Intrínsecos.....	47

5.3.3.2– Escolha do coeficiente radial k_1	47
5.3.3.3-Dados Obtidos.....	48
5.4 Detecção de Pontos pertencentes às Linhas laterais.....	49
5.4.1– Pontos Sequenciais.....	49
5.4.2- Varrimento de Imagem.....	49
5.4.2.1- Imagens Obtidas.....	50
5.4.3– Correção de Imagem.....	52
6 Determinação e Optimização de Parâmetros Intrínsecos	
6.1 Métodos no Calculo de Parâmetros Temporários com um Padrão Virtual.....	55
6.1.1-Escolha de Padrão.....	56
6.1.1.1-Padrão Axadrezado Quadrático.....	56
6.1.1.2-Padrão Axadrezado Distorcido.....	57
6.1.1.2.1-Aproximação de curvas por mínimos quadrados.....	57
6.1.1.2.2-Correção e Distorção da Imagem.....	57
6.1.3-Detecção de Pontos Do Xadrez.....	59
6.1.3.1-Configuração–cvFindChessboardCorners e cvDrawChessboardCorners.....	59
6.1.4 – Calculo de Parâmetros Intrínsecos Temporários e Coeficientes de Distorção.....	59
6.1.4.1-Dados Obtidos.....	60
6.1.5 – Imagem corrigida com Parametros Intrinsicos e Coeficientes Radiais e Tangenciais.....	61
6.2 Optimização dos Parâmetros Intrínsecos.....	62
6.2.1– Optimização do Centro da Lente.....	62
6.2.1.1.-Algoritmo Desenvolvido.....	62
6.2.1.2-Dados Obtidos.....	63
6.3– Avaliação da Qualidade da Imagem.....	64
7 Conclusões e Trabalhos Futuros.....	66
Referências.....	68

Lista De Figuras

Figura 2.1: Esquema visual de uma câmara mostrando o plano virtual da imagem[20].....	5
Figura 2.2: Sistema de eixos no modelo da câmara[20].....	5
Figura 2.3: Efeito de uma lente [20].....	6
Figura 2.4:Efeito Barril [8].....	8
Figura 2.5: Efeito ortoscópico (Não existe deformação no objecto observado) [8].....	8
Figura 2.6: Efeito Pincushion[8].....	8
Figura 2.7: Distorção radial e tangencial representada num plano de imagem.....	9
Figura 2.8: Efeito distorção do tipo barril.....	10
Figura 2.9: Efeito distorção do tipo Pin-Cushion.....	10
Figura 2.10: Diferentes Perspectivas de mesas de Xadrez para uma câmara[1].....	11
Figura 2.11 : Diferentes Perspectivas de Circunferências[25]	11
Figura 2.12: Várias imagens representadas com distorções tipo Barril e PinCushion e os seus respectivos coeficientes radiais [20]	12
Figura 2.13 – Campo de Basketball em diferentes perspectivas [15]	13
Figura 2.14 – Exemplos de posição espacial de câmaras do modelo PinHole em andebol (Esquerda)	14
Figura 2.15 – Campo de Andebol[23]	14
Figuras 3.1 – Imagem Formato RGB, Imagem Tons Cinzento	17
Figuras 3.2 - Imagem Tons Cinzento	17
Figuras 3.3 - Histogramas das cores vermelho, azul e verde	18
Figura 3.4 - Histograma da figura 3.2.....	18
Figuras 3.5 - Aplicação de Thresholding numa imagem de um campo de andebol	18
Figuras 3.6 – Imagens correspondentes aos dois lados de um campo de andebol através da função CvCanny	20
Figura 3.7 – Dilatação Morfológica[1]	21
Figura 3.8 – Erosão Morfológica[1]	21
Figura 3.9 – Resultado de erosão de uma imagem binarizada e dilatada anteriormente	22
Figuras 4.1 – Aplicação de Função cvGoodFeaturesToTrack	25
Figuras 4.2 – Função cvCornerHarris num enxerto dum campo de andebol	27
Figuras 4.3 – Cadeia de Códigos Freeman numeram-se de 0-7, Contorno Convertido em Cadeia de Códigos Freeman[1]	28
Figura 4.4 – Processamento do Algoritmo de Douglas-Peucker numa imagem com vários polígonos e linhas a tracejado	29
Figura 4.5 - Processamento do Algoritmo de Douglas-Peucker numa imagem com vários polígonos e linhas a tracejado.....	30
Figuras 4.6 – Extracto da Detecção de contornos em imagens dum campo de andebol	31
Figuras 4.7 : Contornos detectados num campo de andebol. CvMinEnclosingCircle	32
Figuras 4.8 – Maior Circunferência isolada e o seu respectivo contorno	33

Figura 4.9 – Respectivo Gráfico dos ângulos determinados	34
Figura 4.10 – Excerto (maior) do ângulo entre um conjunto de pontos do maior contorno	35
Figuras 4.11 – Filtro de Pontos da função cvGoodFeaturesToTrack	36
Figuras 4.12 – Aplicação de transformada de Hough para a detecção de círculos num campo de andebol	38
Figura 5.1 – Enxerto dum campo de andebol só com linha de 6 metros	41
Figuras 5.2 - Círculos Optimizados e Segmento de recta a Branco formado pelos pontos PI6'S	43
Figura 5.3 – Numeração de Pontos Obtidos através da função cvGoodFeaturesToTrack.....	44
Figuras 5.4 – Aplicação de varrimento de imagem para a detecção de cantos	46
Figuras 5.5 – Aplicação da função cvHoughLines numa curva e numa recta	46
Figuras 5.6 – Numero de linhas detectadas pela transformada de Hough ao longo da correcção da imagem, Extracto entre a iteração 21 a 25	48
Figuras 5.7 - Numero de linhas detectadas pela transformada de Hough ao longo da correcção da imagem .	48
Figura 5.8 – Aplicação cvHoughLines em imagens corrigidas e não corrigidas.....	49
Figuras 5.9 – Aplicação de algoritmo varrimento em toda a imagem para a localização de pontos pertencentes às linhas laterais	51
Figuras 5.10 – Segmentos de Recta Formados pelos cantos e por pontos na linha de 6 metros	52
Figura 5.11 – Ponto de Intersecção no eixo dos yy dos segmentos de recta.	53
Figura 6.1 – Excerto de um campo de andebol distorcido com um xadrez virtual.....	58
Figura 6.3 – Pontos respectivos de um padrão numa imagem distorcida	59
Figura 6.4 – Correcção de imagem com parametros calculados por padrão não distorcido.....	61
Figura 6.5 – Correcção de imagem com parametros calculados por padrão distorcido.....	61
Figura 6.6 – Aproximação dum centro de lente com bons parametros intrinsecos.....	63
Figura 6.7 – Aproximação dum centro de lente com maus parametros intrinsecos.....	63

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Excerto de tabela com pontos pertencentes ao maior contorno e os seus respectivos ângulos entre si	34
Tabela 5.1 – Pontos indicados a cada círculo	41

Abreviaturas e Siglas

2D.–. Bidimensional

3D – Tridimensional

FEUP – Faculdade de Engenharia do Porto

PI6 – Pontos localizados na intersecção entre a linha de seis metros e a linha laterais

PI9 – Pontos localizados na intersecção entre a linha de nove metros e a linha laterais

PI'S – Pontos Interessantes

PMI's – Pontos Muito Interessantes

RGB – Espaço de Cores (*Red, Green, Blue*)

d_{RMS} – Valor eficaz da distancia perpendicular entre um ponto e uma recta

1. Introdução

1.1 Motivação

Recentemente tem havido grandes desenvolvimentos na identificação e localização de objectos através de sistemas de visão. As câmaras usadas nestes sistemas permitem recolher variadas informações sobre um ambiente analisado, servindo assim como sensores não intrusivos.

Contudo para um bom funcionamento este tipo de sensores requerem, tal como tantos outros sistemas, uma calibração adequada. A calibração, sendo considerada como uma das chaves de todos os sistemas, serve para otimizar a informação recolhida nas imagens analisadas.

Usado em todo o tipo de áreas existe actualmente um grande interesse por parte de muitos grupos científicos, empresariais e outros no desenvolvimento de novos métodos para a calibração destes sistemas.

Mais especificamente em desportos tem havido o desenvolvimento de aplicações que requerem o calculo automático dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos dos aparelhos de visão.

È então, tendo como base estas linhas de enquadramento, com grandes expectativas no presente e no futuro, foi desenvolvida esta dissertação cujo objectivo principal, dentro deste contexto foi desenvolvida e implementada uma aplicação que permite obter os parâmetros duma câmara tal como os pontos interessantes (PI'S) de um terreno de jogo de andebol. Utilizando um conjunto de fotos e vídeos foi implementado um sistema capaz de concretizar o inicialmente proposto.

Numa fase posterior a este projecto, com um estudo e uma investigação mais aprofundados nas subáreas de desenvolvimento relacionadas, será possível fornecer a praticantes, treinadores, educadores, investigadores, decisores ou adeptos desportivos, entre os grupos mais relevantes, informações complementares e soluções suficientemente testadas. Será também relevante dizer que esta tecnologia poderá ainda ser utilizada em processos industriais ou no controlo de tantos outros sistemas complexos.

Este trabalho de dissertação surge no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MIEEC), no major de Automação, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Foi realizado com a orientação do Professor Doutor Armando Sousa e a Professora Catarina Santiago.

1.2 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho foi desenvolver um algoritmo capaz de analisar uma imagem de forma autonoma calcular os parâmetros intrínsecos e extrínsecos da lente usada. Considerando inicialmente uma imagem radialmente e tangencialmente distorcida, a necessidade de determinar os coeficientes para a sua correcção é essencial. Para a respectiva correcção é fundamental ter como um dos objectivos principais a identificação de pontos pertencentes a curvas não-lineares da imagem que correspondem na realidade a linhas rectas. Inicialmente, foi concluído que para recolher todos os pontos pretendidos uma das abordagens para este caso era detectar PI's do campo. Foi considerado como fundamental detectar os seguintes locais:

- *Cantos*
- *Intersecções de Linhas*
- *Postes de Baliza*
- *Centro do meio Campo*

Após a correcção da imagem o pretendido é também determinar a qualidade da imagem corrigida através de alguns modelos matemáticos.

Um objectivo mais secundário seria o uso da aplicação desenvolvida num vídeo na qual a imagem seria dum campo de andebol na perspectiva de um observador localizado nas bancadas do polidesportivo.

1.3 - Organização do documento

Embora este documento não siga pela ordem cronológica, o desenvolvimento deste projecto apresenta-se de maneira lógica os assuntos tratados com uma sequencia compreensível para o leitor.

No capítulo 2 são feitas referencias históricas ao desenrolar do estudo de calibração de câmaras realizado ao longo deste último século, tal como também são explicadas as diferentes distorções presentes em imagens provenientes de sistemas de visão. É indicado também neste capítulo o tipo de sistemas de visão aplicados em desporto e também é apresentado o desporto no qual se centrará este projecto. Por fim, neste capítulo é indicado qual a livraria de software utilizada.

No capítulo 3 são apresentadas e explicadas todas as técnicas de pré-processamento de imagem que irão ser usadas ao longo deste projecto. Também serão indicados os resultados do uso destas técnicas.

Relativamente ao capítulo 4, são demonstrados todos os métodos utilizados para a detecção de Pontos e de círculos Interessantes numa imagem, sendo indicados todos os resultados obtidos e da forma que foram obtidos esses resultados.

Após a obtenção de toda a informação necessária, no capítulo 5 será feita uma abordagem aos métodos utilizados para o reconhecimento de pontos interessantes, demonstrando-se para cada um dos casos os resultados alcançados.

Relativamente ao capítulo 6, neste serão indicadas as metodologias que foram usadas para a detecção e a optimização dos parametros intrinsecos de uma camera.

Finalmente no capítulo 7 serão apresentados os resultados e as conclusões efectuadas ao longo do projecto. Também serão indicados alguns topicos para um futuro trabalho a ser desenvolvido em fases posteriores.

2 - Revisão da Bibliografia

2.1 - Breve História da Calibração de Lentes

A primeira fotografia oficial remonta para o ano de 1826, pela autoria do francês Joseph Nicéphore Niépce. Desde essa época até a actualidade tem-se verificando, como era esperado, um melhoramento progressivo nos sistemas de visão, nomeadamente uma evolução das lentes utilizadas nos sistemas de visão. Apesar dessa evolução eminente, desde o início da fotografia que existem distorções nas imagens, distorções estas que condicionam a fotogrametria originando assim uma falsa relação entre os pontos da imagem com os pontos no mundo real, dos quais são devidos principalmente às distorções radiais e tangenciais. Em alguns dos casos actuais, estas distorções não são observáveis a olho nu devido à inovação e à qualidade tecnológica envolvida nesta área.

Os primeiros passos na fotogrametria foram na área da cartografia durante o início do século XX, esta ciência rapidamente se tornou um foco de grande interesse na primeira e na segunda grandes guerras servindo para efeitos de espionagem através de câmaras aéreas. Depois desta época, entre 1950 e 1979, houve uma evolução notável sendo apresentados muitos trabalhos científicos sugerindo novas abordagens da modelagem da distorção da lente através de teoria geométrica das lentes. Até essa data as abordagens mais comuns eram relativas à projecção das imagens de cada lente. A partir dos anos 50 a maior preocupação andava à volta da calibração da distancia focal e do ponto central da lente.[27]

Em 1965, Brown apresentou na convenção anual da Sociedade Americana de Fotogrametria as últimas investigações que realizou demonstrando que o uso de um prisma em frente da lente duma câmara provocaria uma distorção tangencial numa imagem, demonstrando assim que a causa da distorção era devida à descentralização do centro de imagem. Concluiu que seguindo por esta perspectiva e fazendo uma análise metódica ao trabalho feito por o cientista Conrady seria capaz de chegar a um modelo alternativo para a calibração da lente. Após alguns anos, mais precisamente em 1971, apresentou num artigo um algoritmo que permite calcular os parâmetros de distorção da imagem originando assim também um método que permite alterar uma imagem de três dimensões numa outra de duas dimensões. O modelo denominado desde aquela altura, de modelo de Brown-Conrady, é o seguinte:

$$\begin{aligned}x_u &= x_d + (x_d - x_c)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) + \\ & (P_1(r^2 + 2(x_d - x_c)^2) + 2P_2(x_d - x_c)(y_d - y_c))(1 + P_{3r}^2 + \dots) \\ y_u &= y_d + (y_d - y_c)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) + \\ & (2P_1(x_d - x_c)(y_d - y_c) + P_2(r^2 + 2(y_d - y_c)^2))(1 + P_{3r}^2 + \dots)\end{aligned}$$

aonde:

(x_u, y_u) = pontos de imagem sem distorção

(x_d, y_d) = pontos de imagem com distorção,

(x_c, y_c) = centro da distorção

kn = Nth coeficiente radial de distorção
 pn = Nth coeficiente tangencial de distorção
 $r^2 = (x_d - x_c)^2 + (y_d - y_c)^2$

Este modelo ainda é usado principalmente através da calibração através de processamento digital. Este algoritmo permite assim simplificar e otimizar sistemas automáticos e sistemas de visão computacionais tornando-se assim numa das áreas mais importantes para o bom funcionamento destes sistemas.

2.1.1– Parâmetros Intrínsecos

A imagem obtida por qualquer câmara coloca a realidade tridimensional numa imagem bidimensional. Com a variância da localização, zoom e da amplitude da câmara é possível obter vários tipos de projecções.

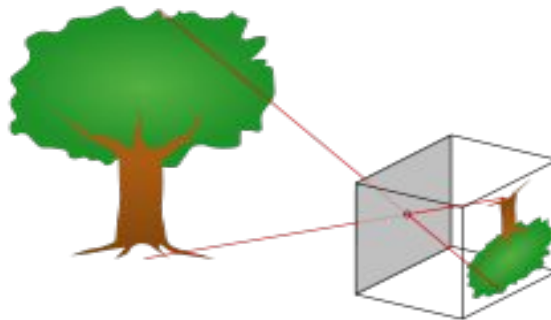


Figura 2.1: Esquema visual de uma câmara mostrando o plano virtual da imagem[20]

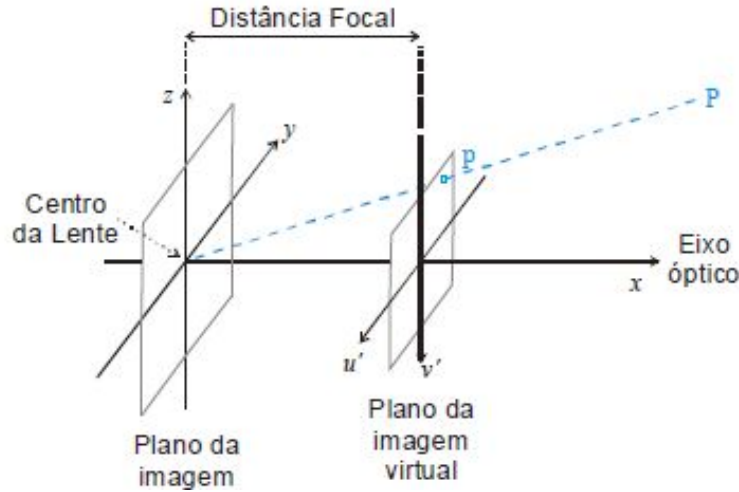


Figura 2.2: Sistema de eixos no modelo da câmara[20]

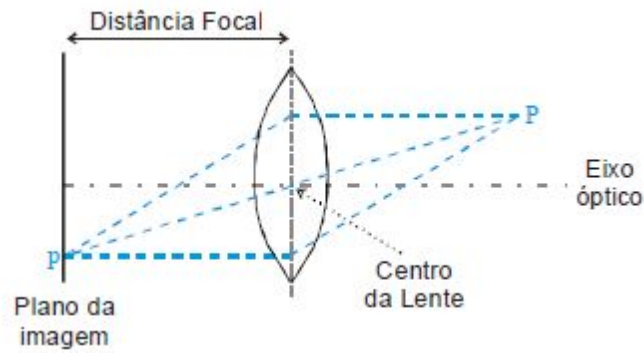


Figura 2.3: Efeito de uma lente [20]

A relação entre os pontos $P(X,Y,Z)$ e os pontos da imagem (u',v') é:

$$\left\{ \begin{array}{l} u' = \frac{-y}{x} f \\ v' = \frac{-z}{x} f \end{array} \right.$$

A distância focal da lente utilizada é a variável f . Utilizando um novo eixo de referencia para se considerar os pontos da imagem obtêm-se o sistema seguinte:

$$\left\{ \begin{array}{l} u' = (u - O_u) S_u \\ v' = (v - O_v) S_v \end{array} \right.$$

No sistema anterior S_u é a distância horizontal entre pixéis adjacentes e S_v a distância vertical entre pixéis adjacentes.

Ao ser formada a imagem é provocado o efeito Barril que corresponde a distorções provocadas na imagem. Uma forma matemática que contraria este efeito decorre no uso da seguinte expressão matemática:

$$\left\{ \begin{array}{l} u' = (u_d - O_x) \cdot S_u \cdot (1 + k_b \cdot r_d^2) \\ v' = (v_d - O_y) \cdot S_v \cdot (1 + k_b \cdot r_d^2) \end{array} \right.$$

Na seguinte expressão u_d e v_d são as coordenadas da imagem distorcida e r_d é a distância ao centro da imagem. A variável k_b está relacionada com a distorção da lente.

Para se proceder ao calculo dos parâmetros relativos à resolução da câmara irá ser utilizada a seguinte expressão:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_x = axPx \\ S_y = Py \end{array} \right.$$

P_x e P_y correspondem às distâncias dos pontos adjacentes e ax um factor de escala para compensar a eventualidade de ocorrerem frequências de amostragem iguais. Todos estes parâmetros após serem calculados não poderão ser alterados para o mesmo tipo de câmara e de óptica. Os parâmetros mencionados são:

- O_u e O_v
- d
- $k1, k2$
- $p1, p2$
- M_u e M_v

2.1.2- Parâmetros Extrínsecos

Os parâmetros extrínsecos dependem unicamente da posição da câmara em relação ao exterior ou seja na realidade observável. Nos quais são:

- β Rotação em torno do eixo dos xx ;
- α Rotação em torno do eixo dos yy ;
- θ Rotação em torno do eixo dos zz ;
- (X, Y, Z) Posição da câmara no mundo.

Estas variáveis serão calculadas no momento de implementação do sistema visual.

2.2– Distorção

2.2.1-Origem da Distorção

Em 1987 Ludwig Von Seidel documentou cinco tipos básicos de aberrações na área da óptica. Estas aberrações, vulgarmente denominadas como aberrações de Seidel, ocorrem devido à geometria das lentes ou então devido aos espelhos usados nas câmaras[26]. Os cinco tipos de aberração indicados são os seguintes:

- *Glaucoma*
- *Astigmatismo*
- *Aberração esférica*
- *Curvatura do Campo*
- *Distorção*

Von Seidel matemático alemão definiu assim as 5 aberrações que se podem identificar em imagens, sendo o seu trabalho uma referencia para várias áreas de estudo principalmente no âmbito da medicina e da engenharia. No que diz respeito à implementação deste trabalho a mais importante aberração presente é a distorção.

A distorção foi caracterizada como uma forma de aberração pelo facto de nestes casos haver um desajustamento na distancia entre o eixo óptico e o plano da imagem observada, quando em casos normais deveria haver uma distancia linearmente simétrica entre eixo óptico e o objecto observado.

Resultam, assim, duas possibilidades evidentes de distorção tal como se observa nas figuras a seguir representadas. Em ambas as figuras é considerado como a posição ideal das lentes o segmento de recta mais escuro, h a correspondente posição dum ponto no plano de imagem enquanto que y é a posição dum ponto observado no mundo real. Analisando as variações angulares entre a posição y e h em relação à posição da lente usada, na primeira e na ultima imagem verifica-se uma refração da luz quando esta atravessa a lente. O efeito originado nos dois casos indicados resulta num posicionamento do ponto analisado não correspondente à realidade verificando-se uma relação h/y diferente de 1. Na segunda figura, a lente usada situa-se muito aproximadamente da sua posição ideal, resultando assim numa relação h/y igual ou muito aproximada a 1.

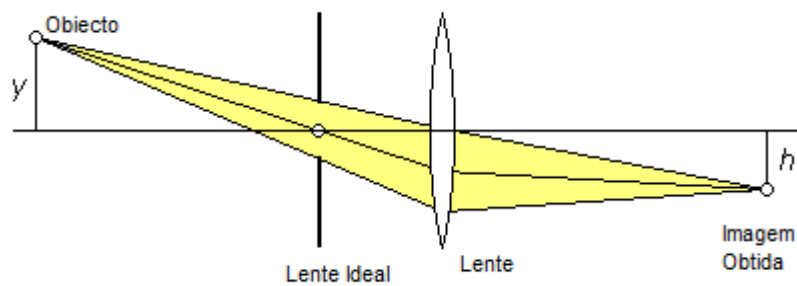


Figura 2.4: Efeito Barril [8]

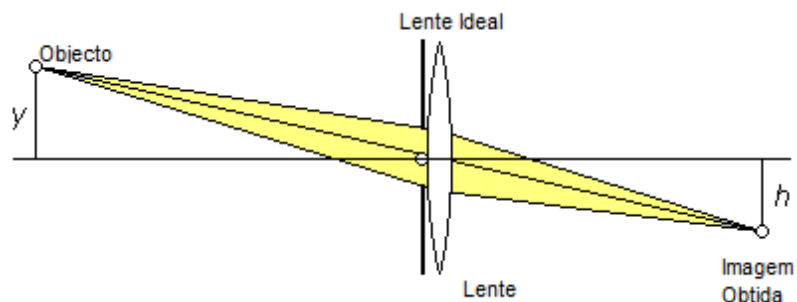


Figura 2.5: Efeito ortoscópico (Não existe deformação no objecto observado) [8]

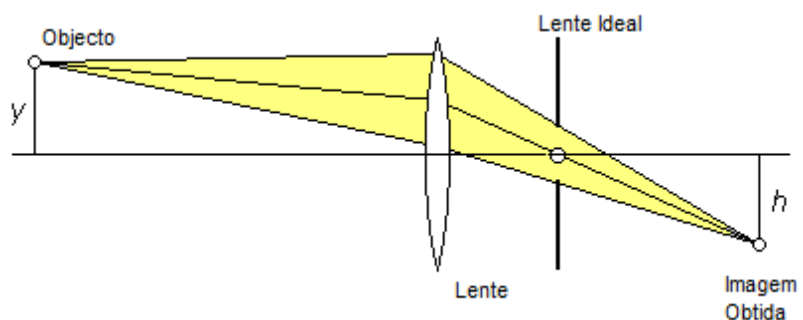


Figura 2.6: Efeito Pincushion [8]

Concluiu-se assim que existem dois principais tipos de modelos de distorção sendo ambas as distorções modeladas por coordenadas polares ou cartesianas.

2.2.2 – Modelos de Distorção

Os modelos de distorção maioritariamente encontrados são do tipo radial, devido à forma esférica das lentes, identificando-se o efeito da distorção radial e do efeito da distorção tangencial num ponto em relação ao centro da lente. Na figura 2.7 são representados os efeitos referentes.

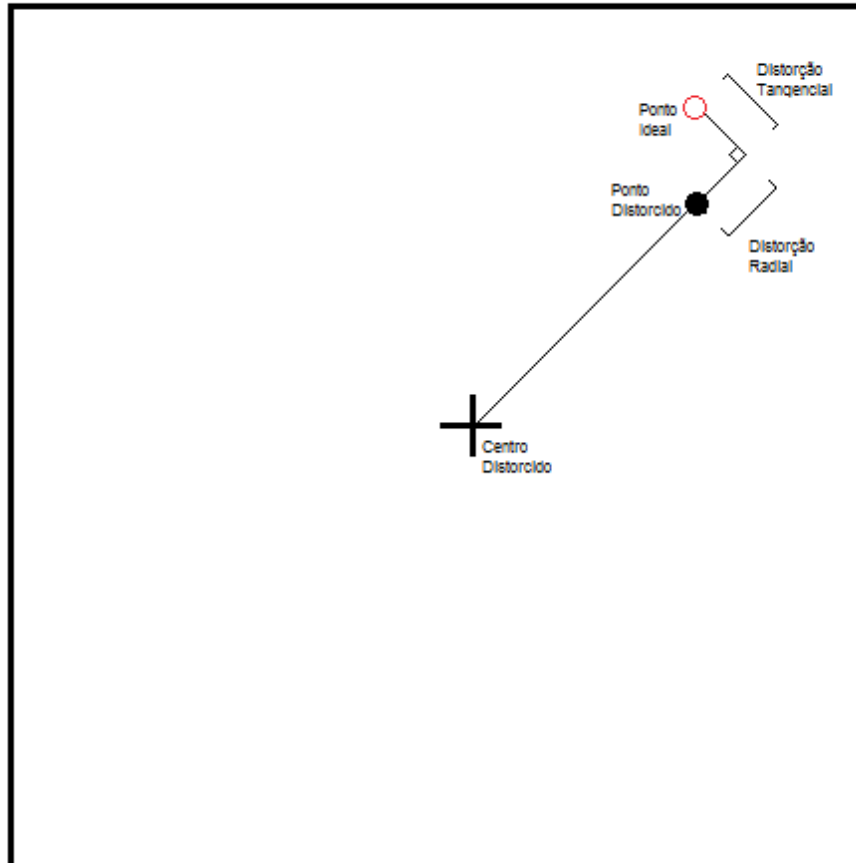


Figura 2.7: Distorções radiais e tangenciais representadas num plano de imagem (Contorno preto é o plano de imagem. O círculo preto é um ponto da imagem distorcida, círculo vermelho é um ponto numa imagem não distorcida.)

Observa-se que os pontos pertencentes à imagem quando sofrem uma distorção tendem a afastar-se ou aproximar-se radialmente do centro distorcido da imagem. No caso de esses pontos se aproximarem mais do centro da imagem verifica-se a denominada distorção em barril, este que tipicamente ocorre em câmaras com lentes de ângulo largo como por exemplo em câmaras do modelo Pinhole.

No segundo caso, quando os pontos se afastarem do centro da imagem, fará com que o resultado final seja uma distorção do tipo Pincushion que normalmente se encontra associada a lentes teleobjectivas.

A quantidade de distorção presente numa imagem é calculada relacionando a distância entre os pontos da imagem com o centro da lente, apesar de existir também distorção tangencial. Em certos casos, esta não é considerada devido ao facto de se só observar uma pequena quantidade principalmente nos cantos das imagens.

2.2.2.1-Distorção em Barril

O efeito em barril provoca assim uma imagem distorcida que tende a ter dimensões mais reduzidas face a

uma imagem sem distorção, ou seja, uma imagem na qual esteja representada correctamente a realidade observada. Um exemplo de distorção em barril numa imagem está apresentada a seguir:

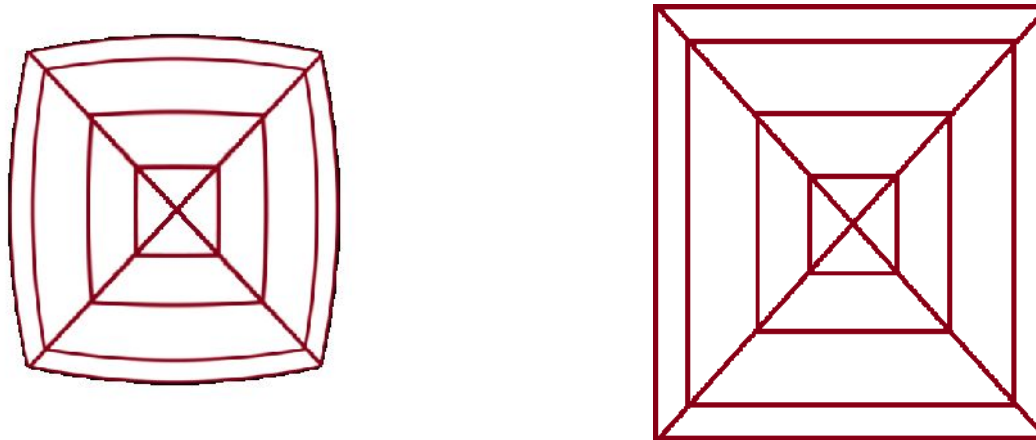


Figura 2.8 - Efeito distorção do tipo barril
(Imagem Distorcida – Esquerda, Imagem não distorcida - Direita)

2.2.2.2-Distorção Pincushion

Este modelo de distorção caracteriza-se pela aproximação dos pontos da imagem ao centro consoante o aumento da distorção tangencial e radial sendo esses pontos convergentes para o infinito formando assim uma imagem com área infinita.

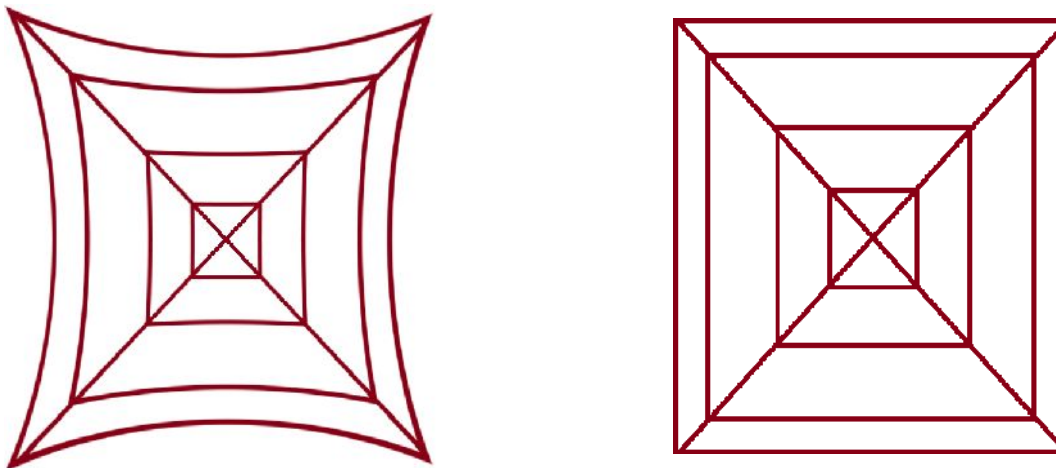


Figura 2.9: Efeito distorção do tipo Pin-Cushion
(Imagem Distorcida – Esquerda, Imagem não distorcida - Direita)

2.3-Métodos de Aproximação a Curvas

Ao longo das últimas décadas, com a utilização do modelo matemático de Brown-Conrady, foram sugeridos diversos métodos para a optimização do ajuste de curvas em imagens distorcidas. Brown em 1971

sugeriu e implementou manualmente um método o qual consistia em localizar vários pontos pertencentes a uma só linha, sendo na imagem distorcida apresentada a linha recta como uma curva devido à distorção radial. O princípio passava por obter uma calibração otimizada no momento em que esses pontos formassem uma unica linha recta.

Mais recentemente outros métodos foram propostos, um deles por Rita Cucchiara [9] que usou a transformada de Hough para determinar o momento em as linhas detectadas fossem mínimas, ou seja, detectar o momento em que não era possivel identificar mais distorção radial na imagem.

Ambas as soluções referidas, não são automáticas devido ao facto de estes métodos necessitarem de serem acompanhadas por uma supervisão por parte do utilizador. Este acompanhamento deve-se à necessidade de se diferenciar, na imagem analisada, as linhas efectivamente existentes na realidade daquelas que resultam da distorção registada. Neste trabalho vão ser utilizados ambos os métodos perante o facto de serem conhecidas as particularidades das imagens analisadas.

No âmbito do processamento digital de imagens, foram apresentadas outras soluções, entre estas uma das mais funcionais foi desenvolvida por Zhang[3] em 1999. O seu método consiste no uso de um simples padrão complanar na imagem, distorcida, sendo usado para caracterizar a distorção das lentes através de várias perspectivas. O calculo dos parâmetros são obtidos determinando os segmentos de recta formados pelos pontos do padrão. Como já foi referenciado no sub-capitulo 2.2.2.1 o calculo das distorções tangenciais podem ser desprezadas devido ao reduzido impacto que estas provocam em algumas imagens, sendo referenciado este factor por Zhang.

Vários estudos mostram que o uso de padrões como tabuleiro de xadrez ou o uso de circunferências, com três ou mais rectas a intersecar o seu ponto central, seriam capazes de permitir calcular os coeficientes radiais.

Os padrões referenciados são apresentadas nas imagens seguintes:

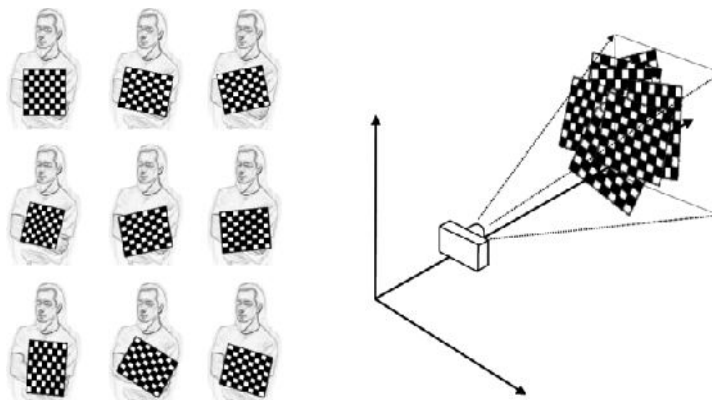


Figura 2.10: Diferentes Perspectivas dum tabuleiro de Xadrez para uma câmara[1]

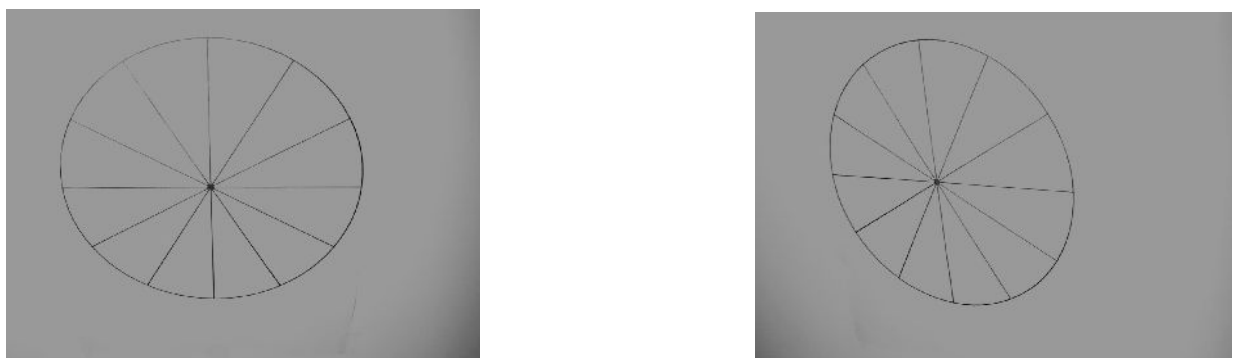


Figura 2.11 : Diferentes Perspectivas de Circunferências[25]

No âmbito do processamento digital foram também propostas soluções que implicam o conhecimento prévio das características físicas dos sistemas de captura e dos pontos projectados em três dimensões através dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos. O propósito passa por comparar a distância entre os pontos projectados, através do uso dos parâmetros e os pontos da imagem original. Para o uso deste método é requerido um conhecimento prévio dos coeficientes radiais e tangenciais, ou então, é necessário o uso de um processo iterativo que implica a redução ou o aumento desses parâmetros, dependendo do tipo de distorção, até valores ideais.

Na figura seguinte, são representados os dois tipos de distorções e os respectivos coeficientes radiais:

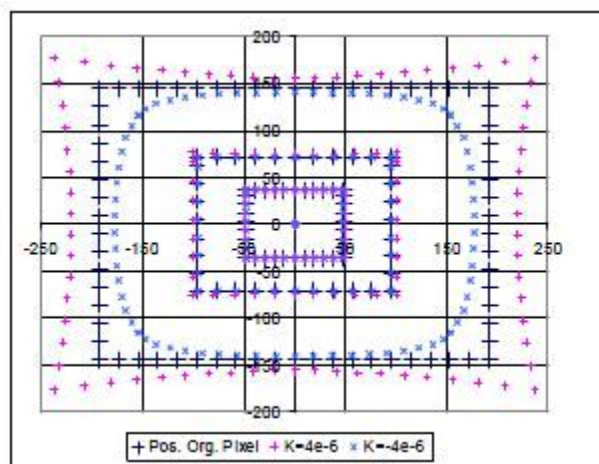


Figura 2.12: Várias imagens representadas com distorções tipo Barril e PinCushion e os seus respectivos coeficientes radiais (A rosa distorção Pin-Cushion com coeficiente com o valor $k = 4e-6$, a azul mais claro distorção barril com coeficiente com o valor $k = -4e-6$) [20]

2.4 – Sistemas de Visão em Desportos

Tem havido ultimamente um grande interesse por parte de muitos grupos de investigadores relacionados intimamente com o processamento de imagem em actividades desportivas. O interesse foi o resultado duma grande evolução nos domínios da obtenção de dados através de câmaras e na inteligência artificial, bem como na evolução dos sistemas de processamento graças ao futebol robótico. A passagem dessa tecnologia para os desportos humanos era absolutamente incontornável havendo neste momento um grande interesse no desenvolvimentos de sistemas para a identificação, seguimento e para a previsão de situações desportivas como também um grande interesse em aplicações para melhorar as decisões por parte das equipas de arbitragem.

Foram sugeridos dois tipos de sistemas aplicáveis[15]:

- *Sistemas Intrusivos*
- *Sistemas Não Intrusivos*

Os sistemas intrusivos, normalmente rejeitados devido a restrições legais, consistem principalmente no uso de tecnologia GPS ou tecnologia de radio-frequência sendo possível obter as distancias percorridas e a velocidade de cada jogador. Estes meios tem sido implementados em alguns desportos principalmente de exterior, tal como: futebol de onze, no futebol australiano e, mais recentemente, tem havido um grande interesse na implementação destes sistemas no futebol americano. Estes sistemas apesar de terem vindo a evoluir continuam a ter algumas restrições.

As restrição legais impostas aos sistemas intrusivos incentivam assim o desenvolvimento de sistemas não intrusivos normalmente constituídos por câmaras com capacidades sensoriais. Um dos métodos mais

recentemente sugeridos para este efeito através do qual é implementado um modelo de correspondência, que permite localizar os elementos presentes no jogo.[15]

Uma das restrições colocadas nestes métodos é a necessidade da obtenção de imagens de boa qualidade nem como de se obter uma visão completa do campo de jogo. Em desportos de exterior a dificuldade aumenta devido à necessidade do uso de vários dispositivos de imagem e, conseqüentemente, à necessidade de um grande sincronismo entre as imagens obtidas. Nos desportos de interior, os campos de jogo tem um comprimento e largura menores não sendo necessário o uso de tantos dispositivos portanto diminuindo a complexidade destes sistemas.

Mesmo assim os desportos de interior tendo um campo de jogo de menor dimensão para ser possível o uso de poucas câmaras, em alguns casos, é necessário o uso de câmaras com um alto angulo de visão, como por exemplo câmaras pinhole.

O uso de sistemas intrusivos tem sido aplicado em larga escala principalmente no andebol, no basketball e no tenis devido às particularidades destes jogos, tais como, o tamanho do campo e o tempo de duração do jogo. Neste projecto, tal como foi referido antes neste texto, o andebol foi escolhido como caso de estudo sendo objecto de investigação e da implementação de algoritmos susceptíveis de identificar os PIS do campo e dos coeficientes radiais das lentes utilizadas.

2.4.1 – Métodos de Aquisição de Imagens

Em sistemas não intrusivos a aquisição de imagens tem que ser a adequada devido à sua directa influencia nos resultados finais obtidos sendo uma das principais a calibração das câmaras usadas. A calibração destas necessitam de ser em modo continuo, sendo necessário para cada frame obtido um calculo dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos das câmaras. Uma das soluções é o uso de câmaras estáticas com um alto ângulo de visão colocadas de modo a permitir obter uma perspectiva *birds eye* (*olho de passaro*).

No caso do andebol são normalmente usadas duas ou três câmaras com um grande ângulo de visão, com uma perspectiva *birds eye*, estas que estão situadas em locais intermédios de cada meio-campo para ser possível uma visão completa do campo de jogo. Existem outros estudos que refrem o uso de sistemas com camaras não estáticas e com o mais variado tipo de prespectivas sobre o campo.[28,29]

Na figura seguinte estão representadas, meramente a titulo de exemplo de colocações de câmaras e as imagens provenientes dum jogo de basquetball:



Figura 2.13 – Campo de Basketball em diferentes perspectivas [15]

As únicas perspectivas usadas neste projecto são respectivamente ás de *birds eye*, sendo as camaras colocadas normalmente proximo do centro de cada meio campo. Devido à necessidade de uma biblioteca mais aprofundada de imagens de campos de andebol, durante o decorrer do trabalho foram instaladas câmaras do tipo pinhole no pavilhão do Académico Futebol Clube, um clube desportivo com uma longa existencia no concelho do Porto.

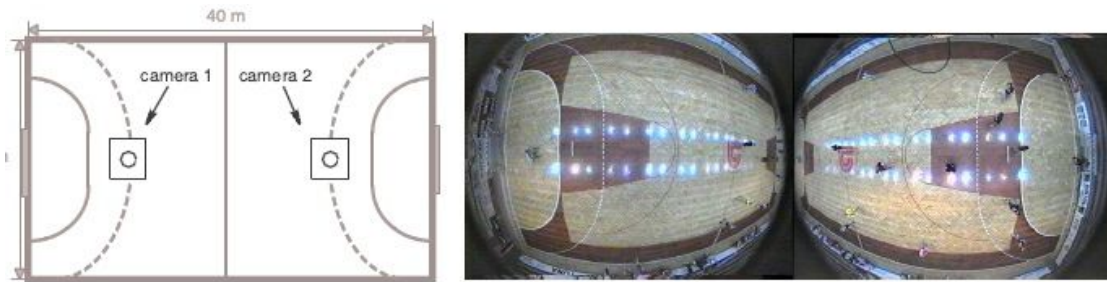


Figura 2.14 – Exemplos de posição espacial das câmaras do tipo PinHole Model (Esquerda)
Fotos de campos de andebol nas posições indicadas (Direita) [17]

2.5 – Andebol

O andebol foi criado, baseado em outros desporto, em 1919 pelo alemão Karl Schelenz e inicialmente era praticado em relva ou igualmente . No congresso de Copenhaga em 1946 foi oficializado uma nova variante praticada em campos de interior, que viria a tornar-se em modalidade olímpica. A variante de andebol de sete continua a jogar-se, apoiada em mudanças nas regras do jogo que procuram a consulodição e a promoção da modalidade assentes na rapidez e na não violencia. Na figura está representado o terreno de jogo de andebol e as dimensões métricas oficiais:

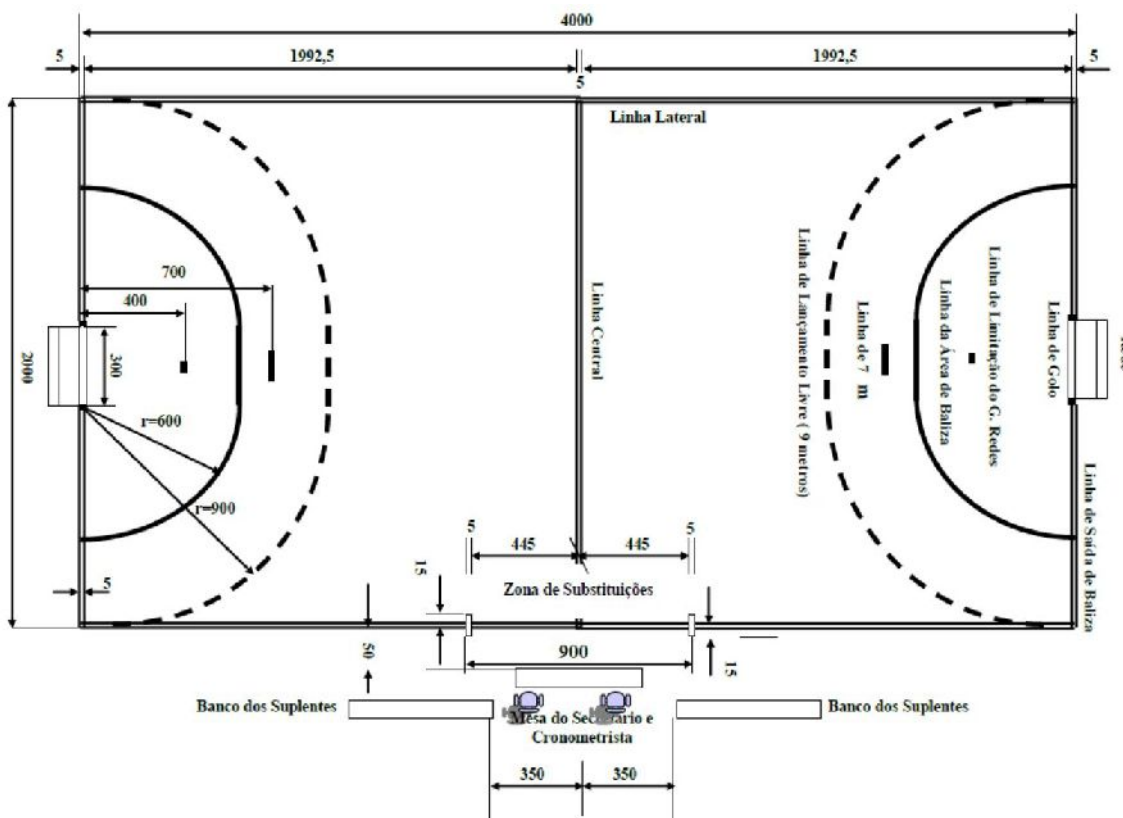


Figura 2.15 – Campo de Andebol[23]

Uma particularidade das linhas de jogo passa pelo facto de o desenho das linhas de nove metros e de seis metros serem parcialmente formadas por dois quartos de circunferência, situando-se o centro destas circunferências em cada um dos postes das balizas. É importante também referir que em jogos oficiais é necessário a presença de zonas de segurança à volta do campo de campo de jogo, variando entre os dois

metros para as linha de fundo e um metro para as linhas laterais.

2.6 – Bibliotecas e Software Utilizado

Existem diversas aplicações que permitem facilitar o desenvolvimento de programas para o processamento de imagens. Os algoritmos desenvolvidos ao longo deste projecto são retiradas da livreria de programação “Opencv”.

2.6.1– Opencv – Livreria de Programação para Visão Computacional

A livreria Opencv[1], é uma livreria informática *open-source* que foi desenvolvida pela empresa Intel com o intuito de fornecer um conjunto de funções para o desenvolvimento de aplicações na área da visão computacional, em tempo real. Contendo mais de 500 instruções, esta livreria é capaz de fornecer diversas aplicações tanto para a área da imagem médica, sistemas de segurança, calibração de câmaras e robótica. Desenvolvida para as plataformas c e c++ é possível utiliza-la em diferentes sistemas operativos e é um meio de divulgar e incentivar a divulgação e a difusão das novas tecnologias de visão para as pessoas em geral.

Ao longo deste projecto foram consideradas várias funções para a resolução dos objectivos requeridos, mas devido principalmente à necessidade de autonomia absoluta da aplicação foram descartadas várias das estratégias que incluíam o uso de muitas aplicações do opencv.

2.6.1.1 – Calibração de Câmara

O opencv contem uma variedade de funções que permitem determinar, de maneira relativamente simples, os diversos parametros que sejam referentes à calibração de uma lente e à sua optimização, permitindo a obtenção de imagens corrigidas através do modelo de Brown-Conrad, bem como a sincronização de imagens.

2.6.1.2– Técnicas de Detecção de Características

Foi necessária uma leitura detalhada e continuada para ser possível obter bons resultados baseados na utilização das funções disponíveis para o processamento de imagem. Existindo uma vasta quantidade de funções ao longo do documento irão ser referidas todas as funções utilizadas para este projecto.

2.6.1.3 – Funções de Desenho

As funções de desenho presentes no Opencv são bastantes úteis na identificação de problemas ao longo dos projectos desenvolvidos, permitindo ao utilizador de maneira visual verificar os resultados obtidos. Foi uma mais valia neste projecto principalmente para corrigir os algoritmos produzidos ao longo do trabalho.

3 – Pré-Processamento de Imagem

3.1- Introdução

o presente capítulo é referente às transformações que irão ser realizadas a partir das imagens originais, ao longo deste projecto. O passo inicial aqui descrito e analisado é essencial porque permitirá filtrar, posteriormente indicado neste projecto, toda a informação que é menos relevante permitindo assim simplificar as imagens originais.

Sabendo-se que as imagens iniciais são apresentadas em formato RGB (Vermelho, Verde e Azul), a primeira fase corresponde à conversão das cores iniciais em tons de cinzento; numa segunda fase a imagem será convertida em formato binário com um intervalo de cinzentos adequado para se obter uma imagem na qual estejam bem definidos os limites do campo do jogo. A terceira e última fase do pré-processamento será relativa à extracção de pontos e contornos de interesse. Com algumas das funções presentes na biblioteca opencv foi possível associar, em alguns casos, a segunda e a terceira numa só tarefa.

3.2– Conversão RGB a Tons Cinzento

Normalmente os métodos relativos à detecção de pontos e de linhas estão baseados em histogramas nas quais estão indicadas diferentes propriedades de uma imagem. Os histogramas são calculados através duma aproximação probabilística, permitindo representar graficamente as densidades das propriedades de uma imagem tornando assim o processamento de imagem mais rápido e mais simples. Nas técnicas de processamento de imagem usualmente são empregues níveis de cinzento, que são referentes aos níveis de intensidade, variando entre um intervalo de 0 a 255, tendo como referência os 8 bit's de cada pixel da imagem, sendo 0 preto e 255 branco.



Figuras 3.1 - Imagem Formato RGB



3.2 - Imagem Tons Cinzento

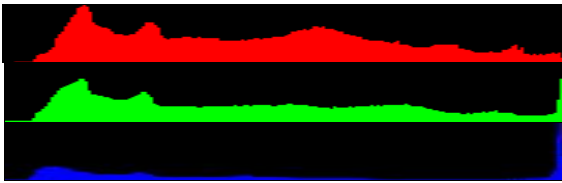


Figura 3.3 – Histogramas das cores vermelho, azul e verde



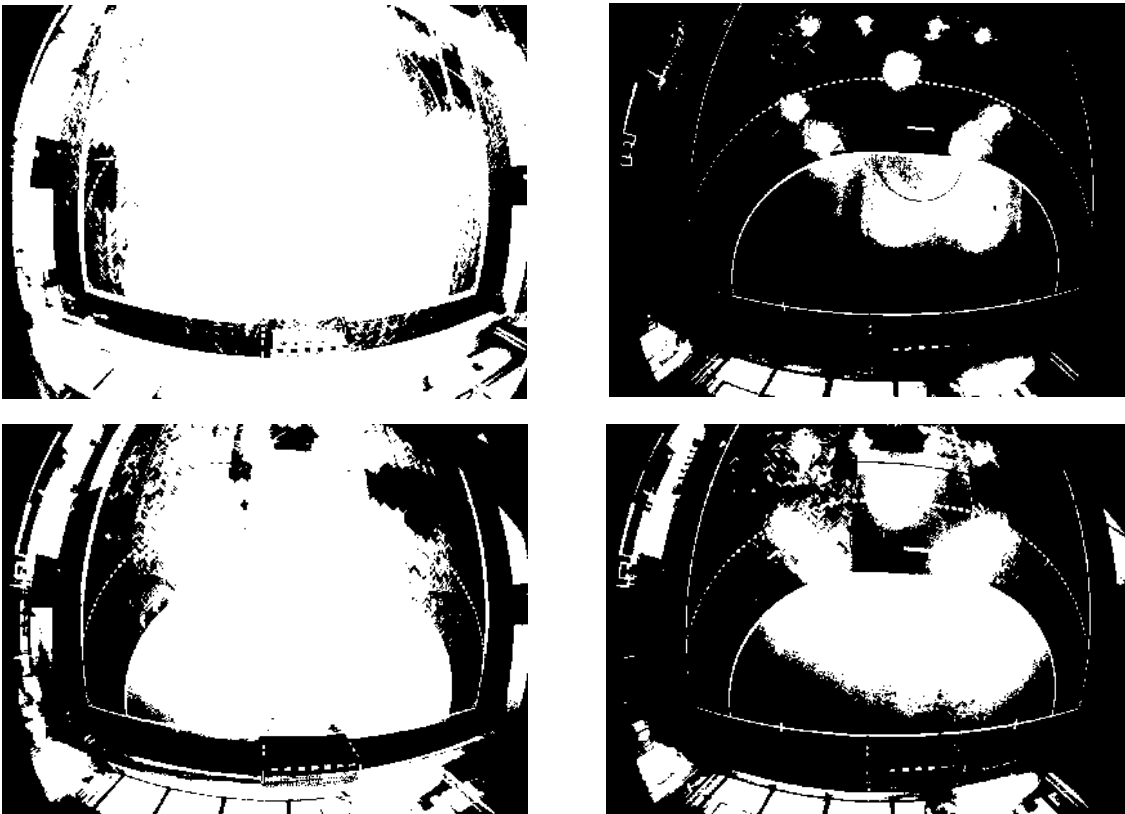
Figura 3.4 - Histograma da figura 3.2

3.3 – Segmentação de Imagens

O método usado para a segmentação de imagem foi através do ajuste manual dos intervalos dos níveis a cinzento. Em todas as imagens usadas o intervalo escolhido foi entre o branco (255) e um valor aproximado localizado entre 0 e 255. Esta escolha foi efectuada atendendo ao pretendido inicialmente, que era a obtenção de uma imagem binária na qual se pudesse observar as linhas de fundo, laterais, de seis metros e de nove metros.

Tal como na maior parte dos jogos desportivos, as linhas do campo de andebol são representadas em tons de branco. Não o sendo completamente em grande parte devido às características das câmaras pinhole como também do desgaste do campo.

Foram testados diversos intervalos, usando um *thresholding* multi-nível, para uma optimização das imagens binárias havendo um interesse principal centrado na redução de ruído em torno das linhas. Nas imagens a seguir estão demonstrados os vários intervalos usados:



Figuras 3.5 – Aplicação de Thresholding numa imagem de um campo de andebol
 (Imagem Superior Esquerdo: Threshold aplicado 50-255, Imagem Superior Direito: Threshold Aplicado 200-255, Imagem Inferior Esquerdo: Threshold Aplicado 125-255, Imagem Inferior Direito: Threshold Aplicado 150-255)

Foi bastante importante esta fase inicial do projecto porque com a obtenção de boas imagens, menos segmentadas, seria mais fácil adquirir PI's do campo de jogo.

Concluiu-se que a melhor escolha para um *threshold* com um valor aproximado a 125, devido à identificação de todas as linhas do campo, nomeadamente os cantos, e também uma “relativa” anulação dos reflexos decorrentes da iluminação do pavilhão nas proximidades das linhas.

3.4– Extracção de Contornos

Após a obtenção de uma imagem na qual é possível identificar as linhas pertencentes ao campo é necessário “isola-las” convenientemente do ruído existente e dos objectos não relevantes.

A biblioteca OpenCV contém diversas instruções que permitem a detecção dos contornos de uma imagem, permitindo assim, de uma maneira simples e rápida, testar e analisar os resultados obtidos.

3.4.1 – Algoritmo de Canny

Sendo usado para a detecção de bordas este algoritmo é caracterizado por 5 importantes passos:

- *Suavização de Imagem*
- *Identificação de gradientes de larga magnitude*
- *Omissão de pontos de mínima intensidade*
- *Duplo Threshold*

Suavização de imagem

Todas as imagens obtidas por um sistema de visão contêm sempre uma quantidade apreciável de ruído. Com o intuito de evitar a identificação de ruído é aplicado um filtro gaussiano, com um parâmetro padrão, para suavizar a imagem segmentada. O processamento deste filtro em imagens é extremamente demorado devido ao tamanho elevado das convoluções gaussianas. Uma forma para evitar esse longo processamento são usadas duas funções gaussianas unidimensionais nos eixos xx e yy.

Identificação de gradientes de larga magnitude

A localização de bordas, através do algoritmo de Canny, é efectuada através da análise de alta variação de intensidade na escala dos tons de cinzento. O método de localização processa-se então através da obtenção dos gradientes da imagem. Os gradientes de cada pixel da imagem são determinados pelo operador Sobel (cvSobel). Este operador consiste na aplicação do gradiente na direcção de x e y através das matrizes 3x3 identificadas a seguir:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A magnitude do gradiente pode ser calculada através da medição da distancia Euclidiana aplicando o teorema de Pitágoras. Para uma optimização do resultado é necessário o calculo da direcção das bordas até ao momento detectadas. O calculo das direcções é obtido através da expressão seguinte:

$$\theta = \arctan \left(\frac{|G_y|}{|G_x|} \right)$$

Omissão de pontos de mínima intensidade

O objectivo deste passo é a conversão das bordas de menor intensidade para bordas fortes através da preservação dos gradientes locais máximos e a eliminação do restante da imagem. A identificação dos locais máximos é efectuada aproximando o ângulo dos gradientes de cada pixel da imagem a 45°. De seguida é comparada a magnitude do pixel analisado com a magnitude dos pixels vizinhos localizados a 90° e -90° e caso os pixels vizinhos contenham uma magnitude maior que o pixel principal é preservado esse vizinho, caso contrário descarta-o.

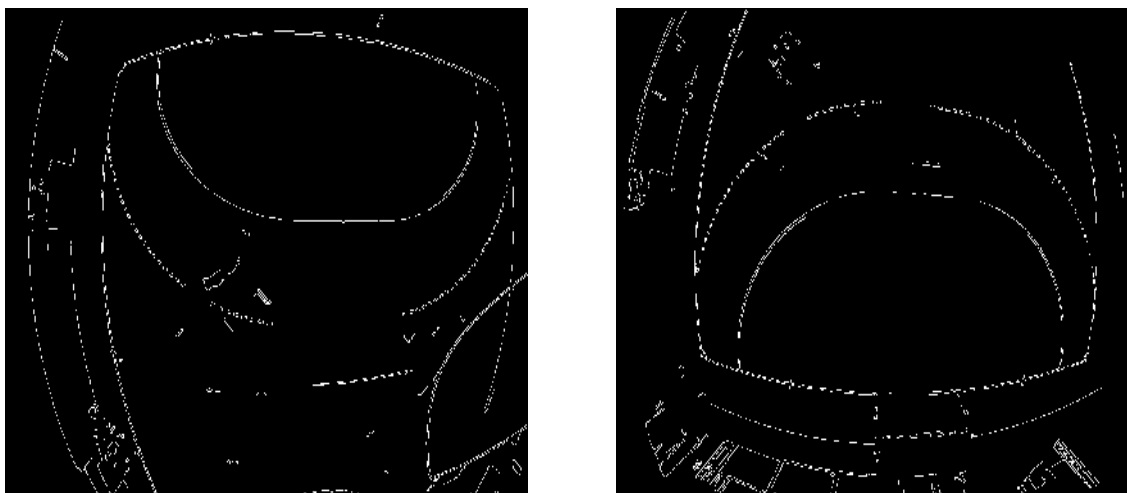
Duplo Threshold

Apesar de, provavelmente, já terem sido obtidos contornos ideais, para evitar ruído ou variações de cor, é necessário o uso de um *threshhold* para preservar os contornos mais fortes. O algoritmo de Canny usa assim dois tipos de threshold que permitem tanto fixar os pixels acima de um certo limiar como eliminar os pixels com um nível abaixo do threshold definido.

3.4.2 – Configuração da função cvCanny

cvCanny(Input_Imagem_Binarizada,Output_Imagem_Binarizada_Canny,Primeiro_Threshold,Segundo_Threshold,Parametro_Sobel)

3.4.3 - Imagens Obtidas



Figuras 3.6 – Imagens correspondentes aos dois lados de um campo de andebol através da função CvCanny

Com o uso deste algoritmo foram obtidas imagens nas quais é possível observar que os contornos do campo de andebol, tal como, a linha de 6 metros e parcialmente a linha de 9 metros são facilmente identificáveis. Os resultados foram decisivos para se concluir que não iria ser necessário a procura de outras soluções para o reconhecimento das linhas integrantes do terreno de jogo de andebol.

3.5– Correção de Imagem

Verificou-se que nas imagens binárias obtidas, apesar de evidenciarem claramente as linhas do campo, eram identificáveis falhas de segmentação entre algumas linhas que reconhecidamente se sabe pertencerem à mesma linha.

Para se evitar, em fases mais tardias do projecto, a ocorrência de erros directamente relacionados com este efeito foram efectuadas operações locais não lineares.

3.5.1 – Dilatação

A dilatação, na livreria opencv identificada como cvDilate, é uma operação local que é resultante duma convolução entre um ponto da imagem com uma janela de tamanho e forma variada. A janela é caracterizada por ter um ponto principal e ao funcionar como um operador máximo permite a dilatação da imagem. Esta janela, podendo ser considerada como modelo ou mascara, percorre todos os pixels da imagem e ao detectar na vizinhança do ponto principal um pixel com um coeficiente superior ao do ponto analisado, corrige-o para esse máximo.

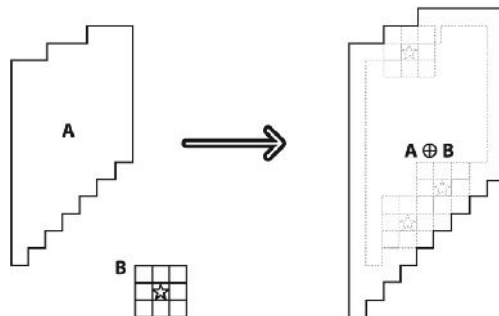


Figura 3.7 – Dilatação Morfológica: Aplicação da Janela B na Imagem A formando Imagem $A \oplus B$ [1]

3.5.2 - Erosão

O funcionamento deste filtro é semelhante ao operador máximo referido anteriormente. A distinção entre eles passa pelo tipo de mascara que é usado pois esta funciona como um operador mínimo.

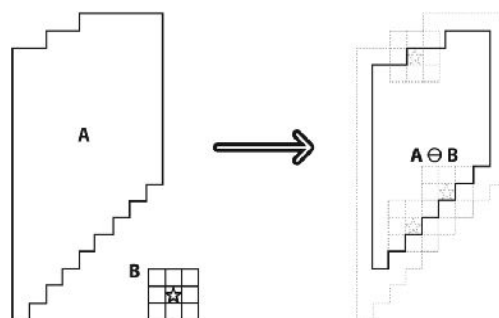


Figura 3.8 – Erosão Morfológica: Aplicação da Janela B na Imagem A Formando $A \ominus B$ (Figura 3.4)[1]

3.5.3 – Configuração das Funções cvDilate e cvErode

Como entrada para estas funções é necessário a utilização de uma imagem binarizada e a inserção do número de iterações pretendidas para o efeito. Esta função devolve uma imagem com as mesmas características que a imagem de entrada.

```
cvDilate(Input_Imagem_Binarizada,Ouput_Imagem_Binarizada_Dilatada,NULL,1)  
cvErode(Input_Imagem_Binarizada,Ouput_Imagem_Binarizada_Erodida,NULL,1)
```

3.5.4– Imagens Obtidas

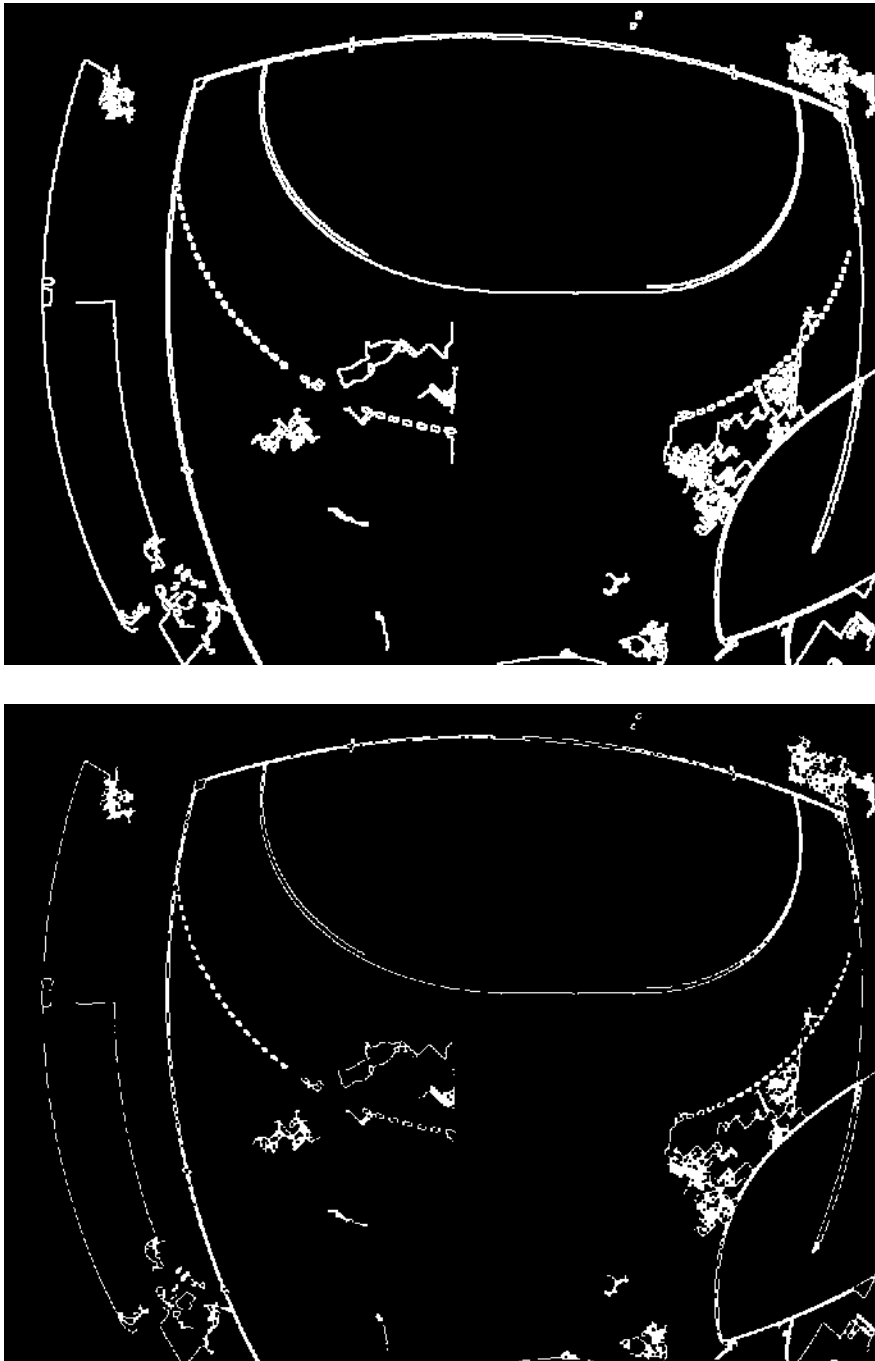


Figura 3.9 Resultado de erosão de uma imagem binarizada (figura de baixo) e dilatada anteriormente (cima)

4 – Detecção de Pontos e Círculos Interessantes

4.1– Introdução

A aplicação de um método para a determinação dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmara, permitindo atingir um sistema completamente autónomo torna necessário, previamente, definir alguns pontos do campo. Os pontos mais relevantes para o projecto eram:

- *Cantos*
- *ponto onde se localiza a intersecção da linha de 6 metros com a linha de fundo (PI6)*
- *Ponto onde se localiza a intersecção da linha de 9 metros com as linhas de laterais (PI9)*
- *Linha de substituição*
- *Extremidades dos postes*

Para a resolução deste objectivo foram considerados vários métodos.

4.2 – Definição de Shi and Tomasi [12]

Este método, identificado na biblioteca OpenCV como `cvGoodFeaturesToTrack`, baseia-se na computação da segunda derivada, sendo determinada os valores próprios (i.e. Em inglês *eigenvalues*) de um ponto numa imagem usando-se para este fim tanto o operador de Harris como o operador de Sobel.

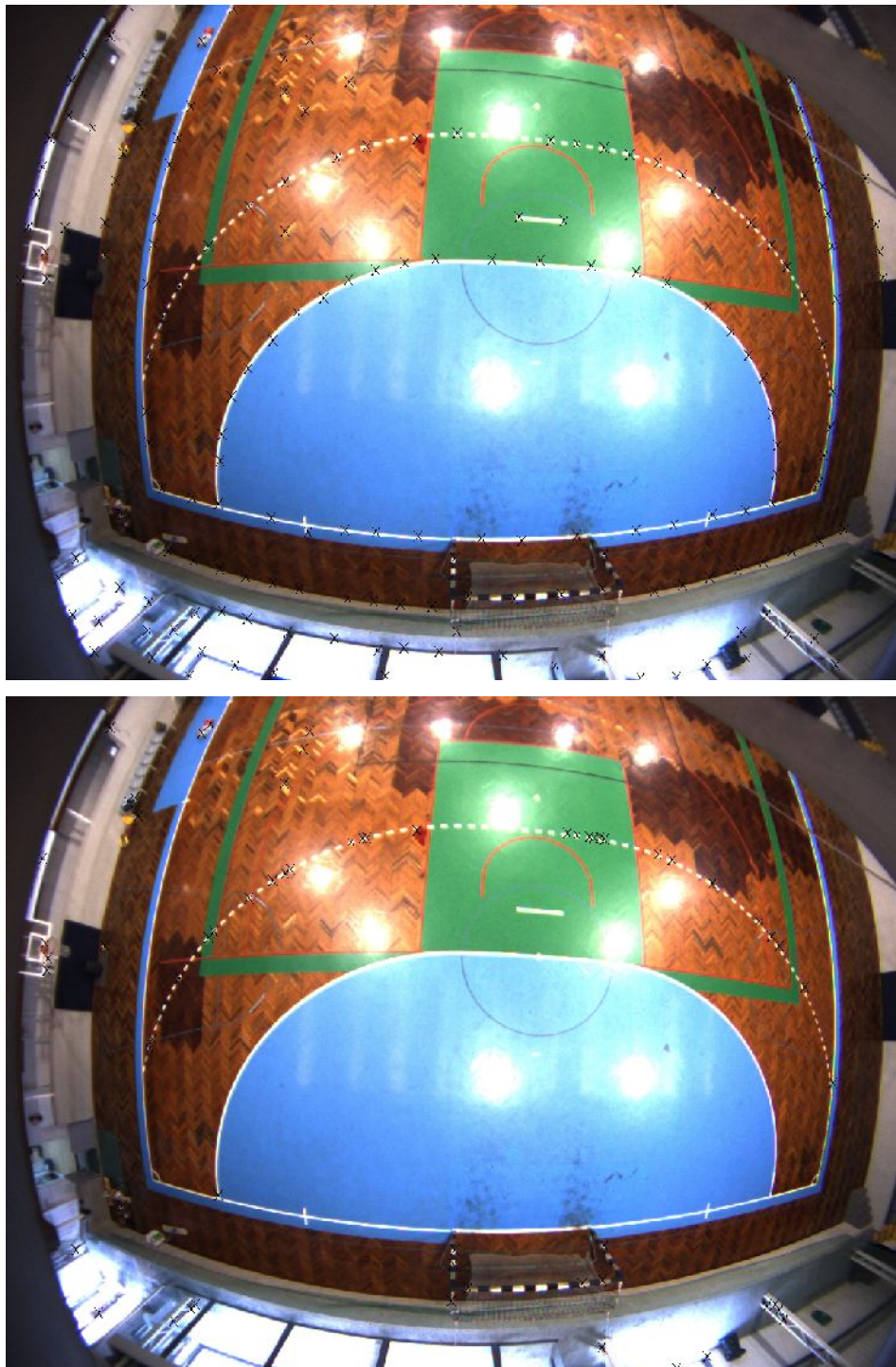
4.2.1 – Configuração da função `cvGoodFeaturesToTrack`

A entrada desta função força a utilização de uma imagem inicial de 8 ou 32 bit de um canal, ou seja, a entrada tem que ser uma imagem com uma só escala de cor, neste caso níveis de cinzento. Com o intuito de detectar todos os contornos pretendidos foi usada as imagens provenientes da função `cvCanny` pois é identificável os contornos pretendidos. É necessário especificar um parâmetro mínimo de qualidade que filtre os cantos que tenham *eigenvalues* acima do valor indicado. É necessário também inserir a distancia mínima, calculada através da distancia Euclidiana, entre os pontos seleccionados.

*cvGoodFeaturesToTrack(Input_Imagem_NiveisCinzentos,
Output_ImagemTemporaria_32bit, Output_Vector_Pontos_Obtidos, Output_Numero_Pontos_Obtidos, Input_Qualidade_Eigenvalues, Input_Minima_Distancia)*

4.2.2 – Imagens Obtidas

Para evitar sobrecarregar o sistema com demasiados pontos foi escolhido uma distancia mínima entre pontos, mas que fosse suficientemente pequena para permitir obter pontos de relativo interesse. Com o objectivo de se localizar as zonas da imagem com mais interesse foi necessário determinar uma configuração razoavelmente boa da função *cvGoodFeaturesToTrack*. Nas figuras seguintes pode-se verificar a aplicação da função num campo de andebol. Na imagem superior está apresentada uma imagem com uma configuração considerada ideal, na qual se pode verificar o bom posicionamento dos pontos “x”. No caso da imagem inferior a configuração utilizada não permite determinar as linhas contornantes e pertencentes ao campo.



Figuras 4.1 – Aplicação de Função *cvGoodFeaturesToTrack* com diferentes configurações

4.3 – Detector de Harris [13]

4.3.1 - Introdução

A definição de Harris, função `cvCornerHarris` em `opencv`, baseia-se no uso da matriz da derivada de segunda ordem nas intensidades da imagem.

$$(\partial^2 x, \partial^2 y, \partial x \partial y)$$

O uso desta matriz permite formar imagens de segunda ordem ou, quando são combinadas as imagens originais com as de segunda ordem, uma imagem Hessian.

No método de Harris é usado uma matriz de correlação de segunda ordem, analisando um bloco à volta de cada pixel. A matriz é a seguinte:

$$H(p) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 I}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \end{bmatrix}_p$$

Consoante os princípios explanados por Harris, os cantos de uma imagem apresentam-se quando a matriz de auto correlação de um ponto apresenta-se com dois grandes valores próprios. Esta constatação deve-se ao facto, que nestas situações existem duas bordas com direcções diferentes e simultaneamente intersectando o ponto analisado.

4.3.2 - Configuração da função `cvCornerHarris`

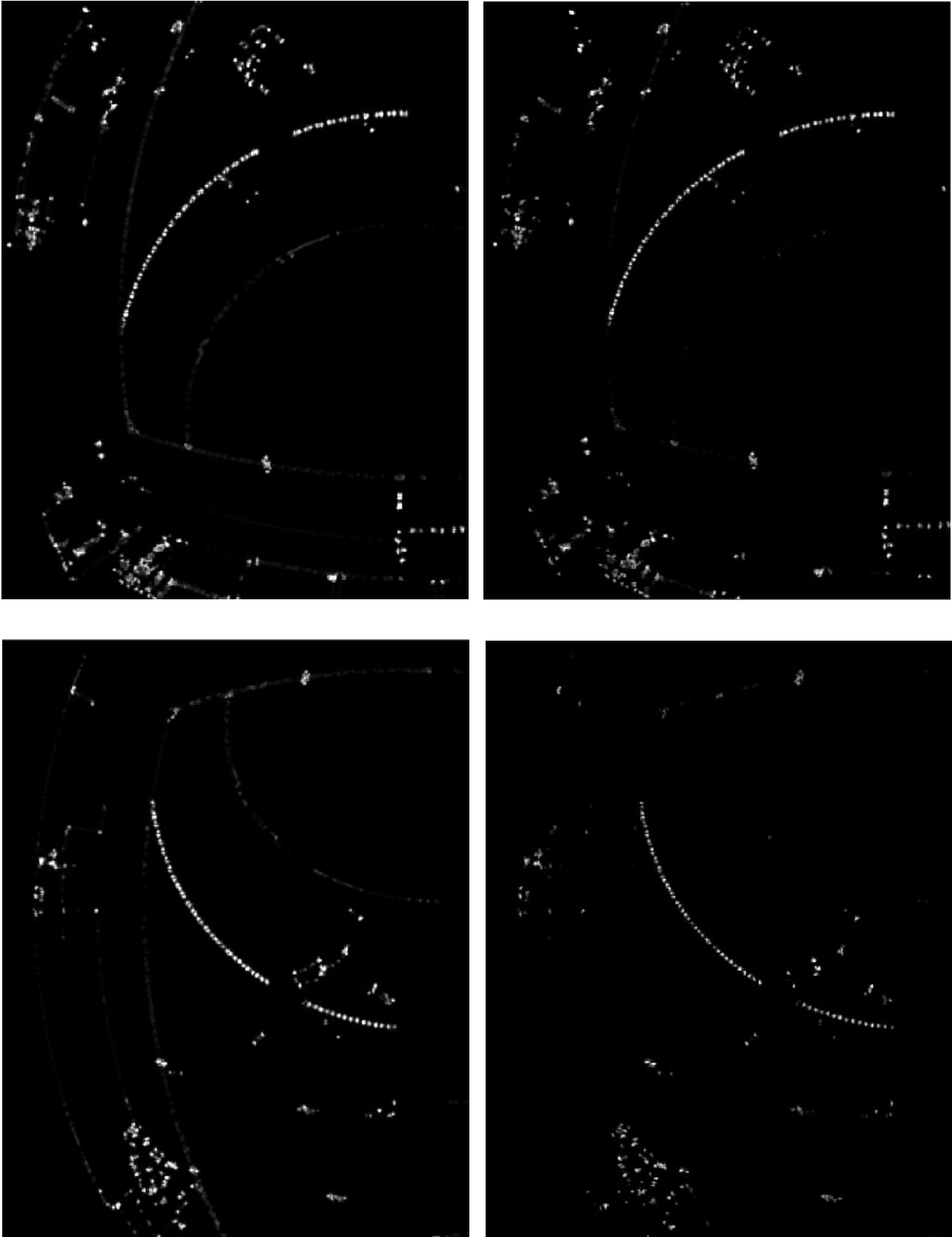
O uso desta função requer a utilização de uma imagem em níveis de cinzento, a quantidade de pixéis vizinhos a serem analisados, o parâmetro de abertura para o operador Sobel e o parâmetro usado pelo método de Harris.

O resultado será uma imagem na qual são se localizados os cantos mais fortes de uma imagem.

```
cvCornerHarris( Input_Imagem_NiveisCinzentos,  
Output_Imagem_Binarizada,Tamanho_Bloco_PixeisVizinhos_Analisar,Parametro_Abertura_Sobel,  
Parametro_Harris)
```

Com o uso desta função, e com diferentes configurações, obteve-se bons resultados mas, apesar de se obter imagens aonde se consegue identificar os PI's do campo, considerou-se que ainda existia muito ruído e ainda era necessário analisar a imagem para se obter a informação pretendida.

4.3.3 – Imagens Obtidas



Figuras 4.2 – Função cvCornerHarris num enxerto dum campo de andebol (Imagem Superior e Inferior Esquerdo – Parâmetro para Harris 0.01 e parâmetro para Sobel 3, Imagem Superior e Inferior Direito - Parâmetro para Harris 0.08 e parâmetro para Sobel 3)

4.4 – Detecção de Pontos Através de Contornos

4.4.1 – Introdução

Numa tentativa de desenvolver novas perspectivas do trabalho para a aquisição de dados foi implementada, numa fase posterior do trabalho, um método capaz de localizar os contornos do campo de andebol.

Apesar da localização de contornos de uma imagem, ao contrário dos outros métodos referidos anteriormente, não permitir a obtenção directa de pontos interessantes permite contudo localizar e identificar os objectos presentes nas imagens através de pontos com coordenadas nos eixos de xx e yy.

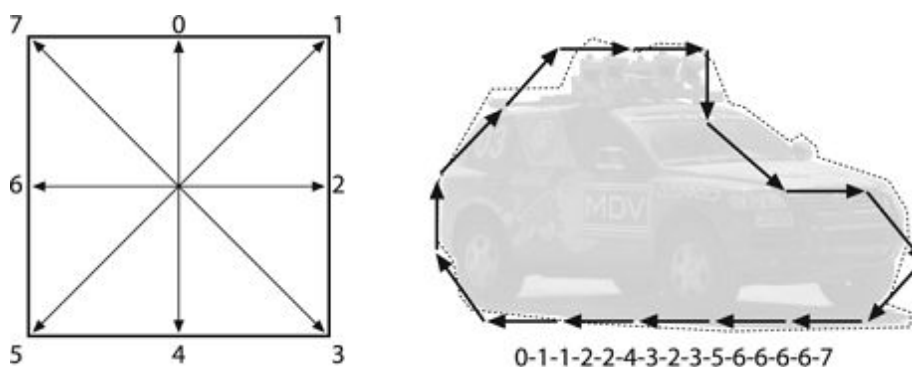
4.4.2 – Extracção de Contornos

Usando a função `cvFindContours`, derivando dos métodos de S.Susuki e K.Abe [20], foi possível obter um conjunto de contornos através de uma imagem binarizada. O problema principal no uso desta função é a escolha do modo como os pontos de cada contorno vão ser devolvidos.

Um dos requisitos analisados durante o desenvolvimento deste projecto foi a necessidade de se obter um conjunto de pontos sequenciados. Esta escolha deveu-se à necessidade, para o processamento de dados, da obtenção de um conjunto de dados que indicassem o caminho dos contornos.

Cadeia de Códigos Freeman [14]

Através deste método é possível obter um conjunto de pontos que representam um polígono que é representado como uma sequencia de passos, sendo estes admissíveis em oito direcção possíveis.



Figuras 4.3 – Cadeia de Códigos FreeMan numeram-se de 0-7, Contorno Convertido em Cadeia de Códigos Freeman[1]

Relativamente a este método existem diversas maneiras de se extrair os pontos do contorno:

- *CV_CHAIN_APPROX_NONE* - Tradução dos pontos dos contornos em cadeia de códigos Freeman
- *CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE* – Obtém-se os pontos finais de todos os segmentos horizontais, verticais e diagonais.
- *CV_CHAIN_APPROX_TC89_L1* ou *CV_CHAIN_APPROX_TC89_KCOS* – Aplica o algoritmo de aproximação Teh-Chin.

Foi escolhida o método CV_CHAIN_APPROX_NONE porque retorna todos os pontos pertencentes aos contornos identificados na imagem analisada.

4.4.2.1 - Configuração da função cvFindContours

cvFindContours(Imagem_Binarizada_Canny, Vector_Pontos, Apontador_Primeiro_Ponto, Tamanho_Vector, Tipo_Dados, Método_Extracção)

Deve ser inserido uma imagem binária de entrada com 8 bits e deve deter um só canal, como também tem que ser definido um local para a função guardar os contornos.

Por fim é necessário indicar o método para apresentar os pontos de cada contorno.

4.4.3 – Identificação de Polígonos em Contornos

Com o intuito de representar na imagem quais os contornos obtidos anteriormente, foi implementada a função cvApproxPoly() que permite identificar quais dos contornos que se assemelham a polígonos. O único algoritmo possível, até ao momento, de se usar nesta função baseia-se no método de aproximação de Douglas-Peucker.

Este processo de identificação selecciona inicialmente dois pontos extremos e conecta-os com uma linha. De seguida é procurado, dentro do polígono analisado, o ponto mais afastado da linha anteriormente desenhada sendo depois incluído na aproximação. Funcionando iterativamente o processo finaliza quando forem seleccionados todos os pontos do contorno. O resultado final é então um conjunto de pontos com um nível de precisão elevado. Na figura seguinte está demonstrado o funcionamento base deste algoritmo:

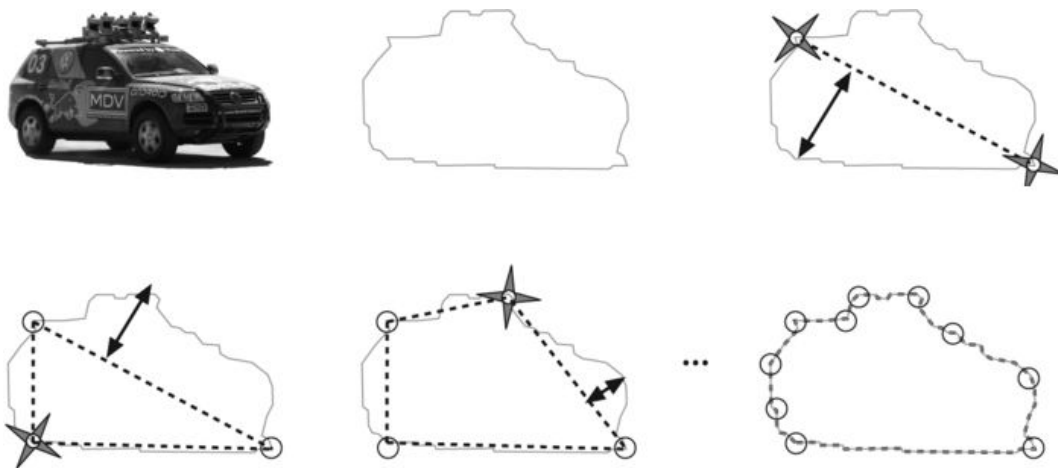


Figura 4.4 – Funcionamento do algoritmo Douglas-Peucker [1]

O uso deste algoritmo foi então testado numa figura contendo vários tipos de polígonos e também com linhas a tracejado.

A presença de linhas a tracejado deve-se ao facto de se querer saber previamente qual o resultado do uso deste método em imagens de campos de andebol. Apesar da função `cvApproxPoly` determinar os pontos pertencentes aos contornos de um polígono não permite inserir graficamente sendo então necessário recorrer-se à função `cvDrawContours`.

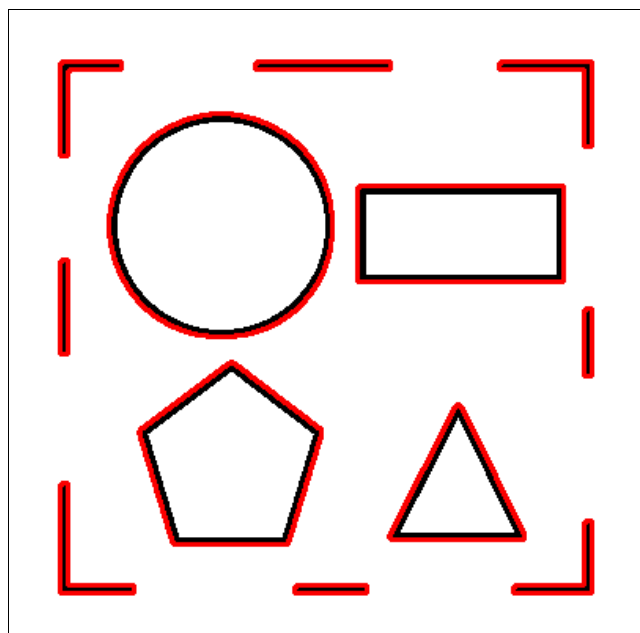
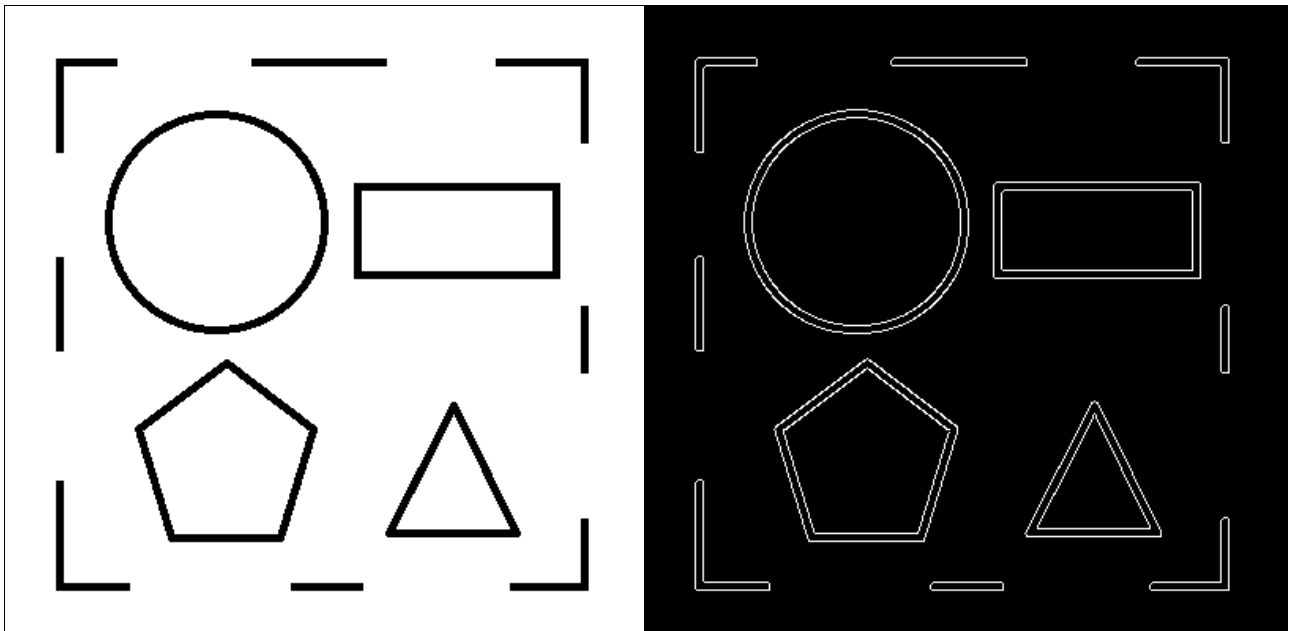


Figura 4.5 – Processamento do Algoritmo de Douglas-Peucker numa imagem com vários polígonos e linhas a tracejado
(Figura Superior Lado Esquerdo – Imagem Original, Figura Superior Lado Direito – Imagem com `cvCanny`, Figura inferior – Imagem Final (a Vermelho - linhas de contorno, Preto Linhas Originais))

Depois de confirmada a detecção de todos os polígonos numa imagem foi testado esta aplicação para imagens de andebol.

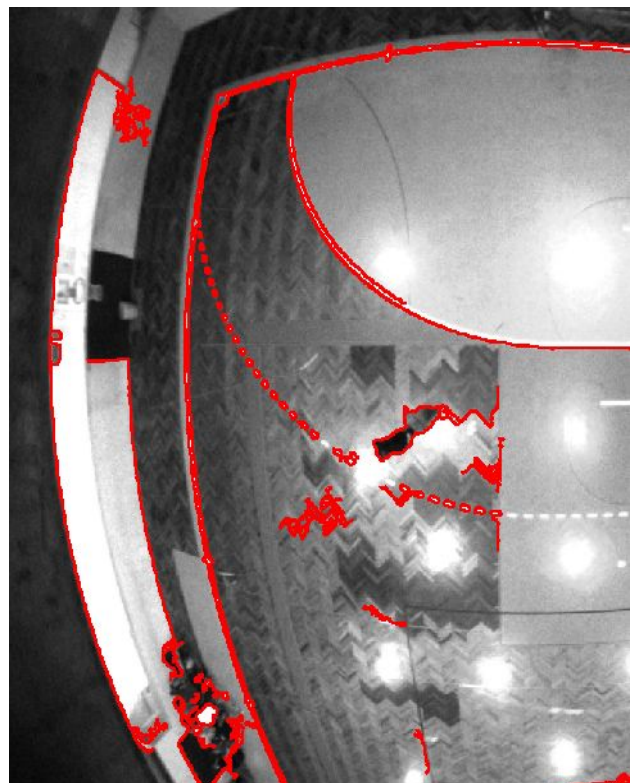
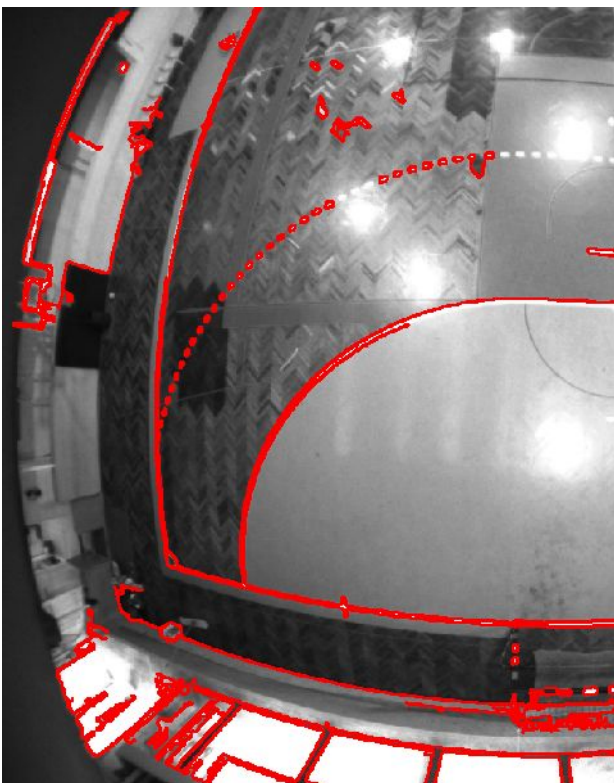
4.4.3.1 – Configuração da função cvApproxPoly e cvDrawContours

Para a função cvApproxpoly ser aplicável é necessário inserir como argumentos de entrada a sequência de pontos proveniente da função cvFindContours e o tipo de método usado. No caso em estudo somente existe um designado por CV_POLY_APPROX_DP que é relativo ao algoritmo de Douglas-Peucker. Os argumentos relativos a este métodos são os seguintes:

- *Argumento de precisão*
- *Argumento de orientação (Localização do próximo ponto da sequência)*

A saída desta função é um vector sequencial aonde estão presentes todos os polígonos identificados.

4.4.3.2– Imagens Obtidas



Figuras 4.6 – Extracto da Detecção de contornos em imagens dum campo de andebol

Como se pode observar nas figuras anteriores, apesar de haver linhas detectadas que formam um determinado contorno, não se consegue concluir quais são as estruturas presentes.

Foi então necessário, somente para efeitos informativos, incluir neste algoritmo uma forma que permitisse identificar por zonas quais os contornos detectados.

4.4.4 – Localização de Contornos

Tal como foi referido anteriormente, apesar de se obter um conjunto de pontos formando contornos, é necessário isolá-los. Em modo computacional não é relevante haver este isolamento visual mas para a compreensão das imagens em questão, este tema é essencial.

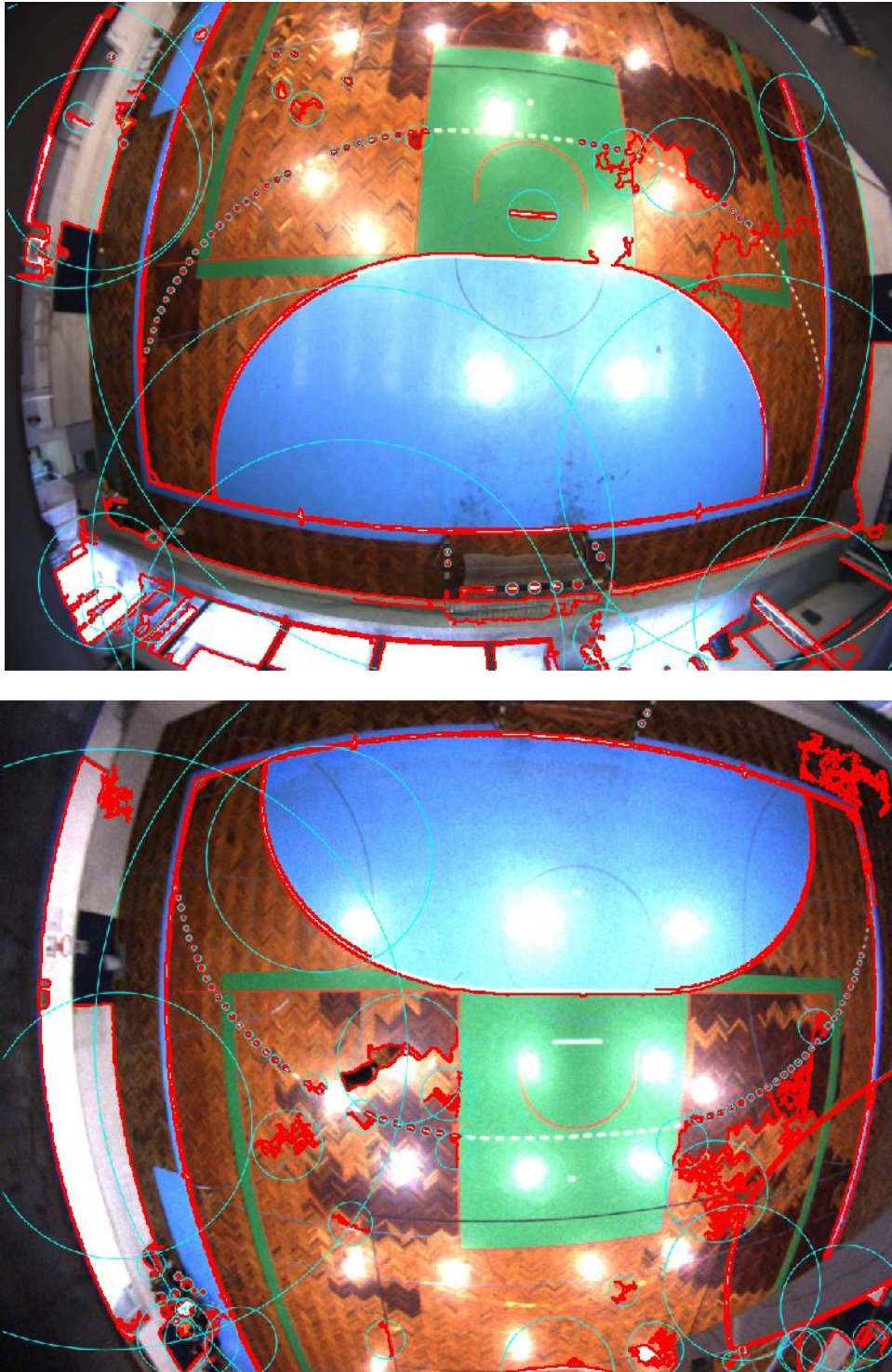
A identificação foi assim efectuada graças à função cvMinEnclosingCircle que permite através de

mínimos quadrados, obter um círculo mínimo ao redor dos pontos de cada contorno.

4.4.4.1 – Configuração cvMinEnclosingCircle

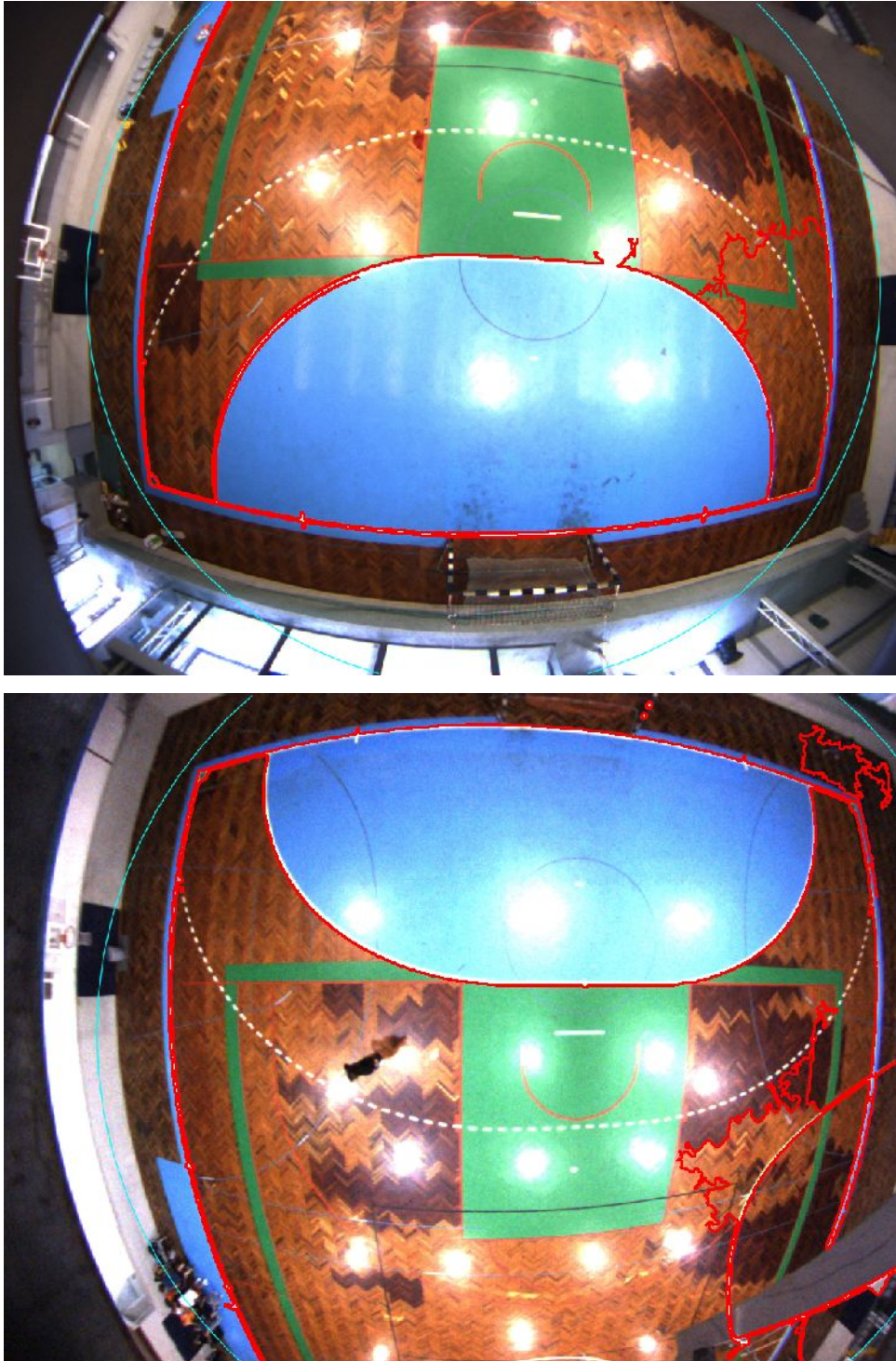
A entrada desta função são os pontos sequenciados provenientes da função cvApproxPoly e como saída são calculados o centro do círculo obtido e o respectivo raio.

4.4.4.2 – Imagens Obtidas



Figuras 4.7 : Contornos detectados num campo de andebol. Círculos obtidos através cvMinEnclosingCircle.

Com as imagens obtidas já é possível observar quais e onde estão localizados os contornos obtidos. Pode-se observar nas imagens anteriores que o maior círculo é o que rodeia o campo de jogo, concluindo-se que ao isolar este contorno dos restantes pode-se obter a sequência de pontos presentes nas linhas do terreno do jogo. Em casos do campo não preencher a imagem por completo este método continua a ser possível de se utilizar visto que a possibilidade de haver um contorno maior que o do campo é bastante reduzido. Sabendo-se qual o respectivo contorno do campo de jogo através das figuras 4.15 e 4.16, aplicou-se um filtro que analisasse o contorno com o maior raio obtendo-se as seguintes figuras:



Figuras 4.8 – Maior Circunferência isolada e o seu respectivo contorno com os pontos a vermelho

4.4.5– Detecção de Pontos Interessantes

Sabendo-se então qual o respectivo contorno do canto e os respectivos pontos pertencentes ao campo do jogo, era necessário determinar/localizar os pontos mais importantes do campo.

Os pontos, tal como foi referido anteriormente, são sequenciais permitindo assim determinar quando um deles muda repentinamente de direcção em relação ao anterior. Considerando esta abordagem foi desenvolvido um algoritmo capaz de detectar essas variações mais bruscas. No início da implementação a maior preocupação era relativa à distorção da imagem mas com um aprofundar da questão concluiu-se que o ângulo entre pontos da mesma linha eram semelhantes não havendo uma notória mudança nos ângulos entre si.

Nas imagens anteriores as linhas a vermelho obtidas pela função cvDrawContours, são na realidade a junção dos pontos sequenciados através de pequenos segmentos. Com a grande proximidade entre esses pontos as coordenadas tanto nos eixos dos xx como no eixo dos yy tomam valores muito aproximadas sendo a diferença entre eles, em alguns casos, igual a zero influenciando os valores angulares para 0°,45°,-45°, 90° e -90°.

O algoritmo desenvolvido rege-se então na análise iterativa de cada grupo de três pontos, (p1,p2,p3 por exemplo), pertencentes à sequencia, calculando os ângulos entre p1 e p2 e entre p2 e p3. Este método de filtragem foi criado com base no algoritmo de D. Chetverikov and Zs. Szabo [19].

Contudo os resultados obtidos não foram os previstos, na medida em que o esperado era um conjunto de ângulos muito aproximados e que tivessem valores bastante baixos. Os resultados assim obtidos foram valores angulares variando entre 0°,45°,-45°, 90° e -90°. Apesar destes resultados, o produto obtido foi interessante tal como se pode observar no seguinte extracto de pontos e no gráfico elaborado:

Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ângulos	
x	y	x	y	x	y	P1 – P2	P2 – P3
439	41	438	42	428	42	45	0
438	42	428	42	427	43	0	45
428	42	427	43	423	43	45	0
427	43	423	43	422	44	0	45
423	43	422	44	412	44	45	0
422	44	412	44	411	45	0	45
412	44	411	45	406	45	45	0
411	45	406	45	405	44	0	-45
406	45	405	44	405	39	-45	-90
405	44	405	39	404	39	-90	0
405	39	404	39	403	40	0	45
404	39	403	40	402	40	45	0
403	40	402	40	402	44	0	90
402	40	402	44	400	46	90	45
402	44	400	46	398	46	45	0
400	46	398	46	397	47	0	45
398	46	397	47	393	47	45	0
397	47	393	47	392	48	0	45
393	47	392	48	385	48	45	0
392	48	385	48	384	49	0	45
385	48	384	49	381	49	45	0
384	49	381	49	380	50	0	45
381	49	380	50	373	50	45	0

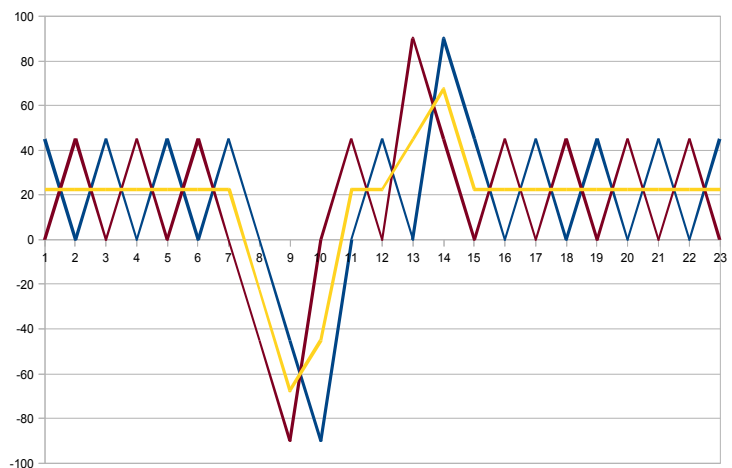


Tabela 4.1 e Figura 4.9 – Excerto da tabela com pontos pertencentes ao maior contorno e os seus respectivos ângulos (Tabela 4.1), Representação gráfica dos ângulos determinados. (A azul ângulo entre P1 e P2, a vermelho ângulo entre P2-P3, A amarelo Soma entre os ângulos (P1-P2) e (P2-P3))

Examinando o gráfico anterior pode-se observar que até a iteração 7 os ângulos formados pelos pontos

P1 - P2 e P2 – P3, apesar de variarem, vão mantendo um padrão constante. Chegando à iteração 8 existe uma variação no valor do ângulo P2 – P3, modificando na iteração seguinte para -45 e -90. tentou-se perceber aonde estavam localizados, na imagem analisada, os pontos com coordenadas (406,45), (405,44) e (405,39), notando-se que esta variação foi devida à linha de substituição. Em relação a linha formada pelos pontos localizados até à iteração 8 é possível observar que pertencem a uma das linhas do contorno do campo de jogo. Concluiu-se então que esta metodologia poderia ser uma forma possível para a extracção de PIs sendo assim criado um gráfico com um excerto maior de pontos, considerando-se somente a soma dos ângulos formados por cada grupo de 3 pontos:

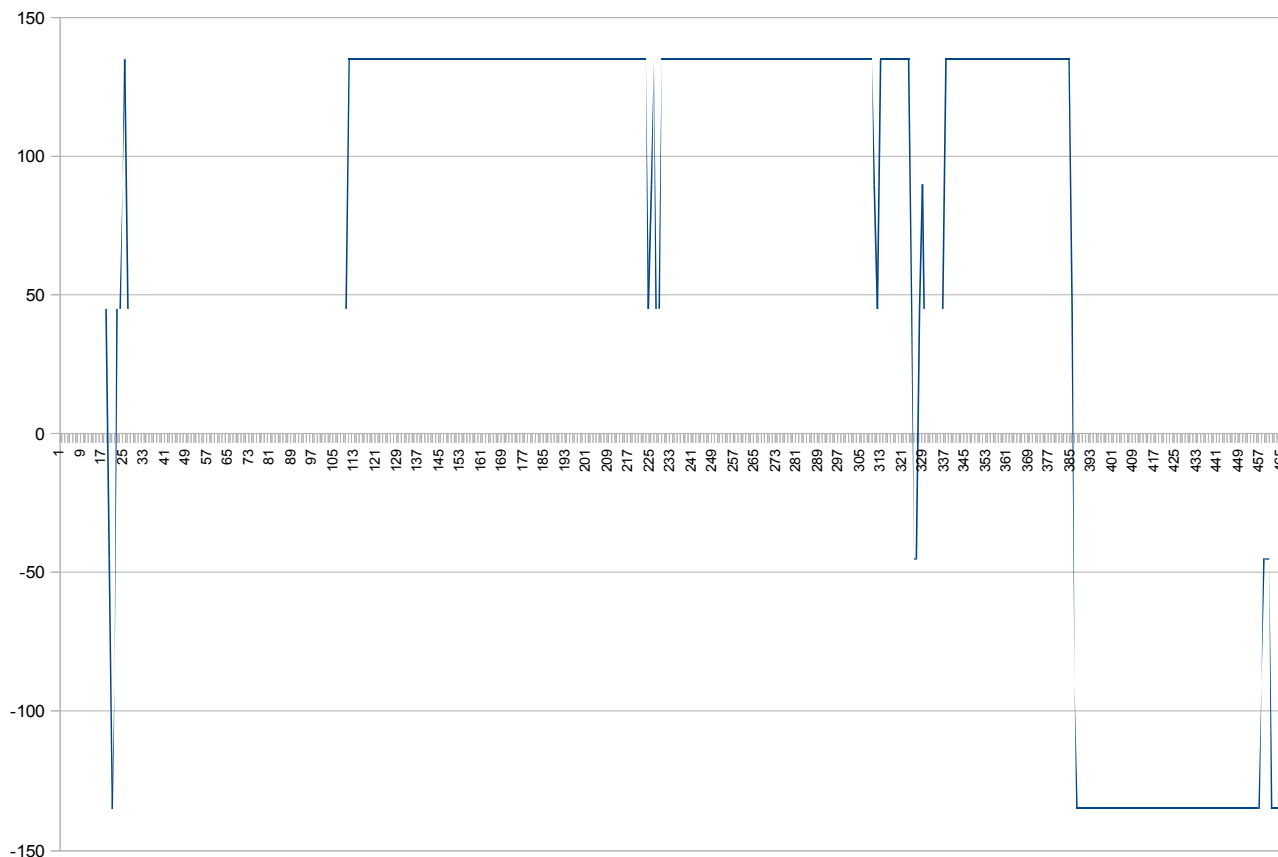


Figura 4.10 – Excerto (maior) do ângulo entre um conjunto de pontos pertencentes ao maior contorno. Uma unidade do Eixo dos xx corresponde a comparação angular entre 3 pontos (P1-P2 e p2-P3).

Como se pode observar na figura anterior existem vários locais aonde o ângulo se mantém constante havendo pequenos intervalos em que se observa repentinas mudanças angulares. Estas variações conclui-se que são devidas aos pontos localizados nas linhas de substituição como em PI6, PI9 e cantos. Sabendo-se então em que situações à variação de direcção foi possível implementar um algoritmo que detectasse os picos de direcção.

4.4.5.1– Imagens Obtidas



Figuras 4.11 – Aplicação do filtro para Pontos provenientes da função `cvGoodFeaturesToTrack` sendo identificados como “X” e a rosa. Circulo a azul turquesa do maior contorno envolvente

4.5 – Detecção de Círculos

4.5.1– Introdução

Tal como foi referido no capítulo 2.5, a linha de 6 metros é formada parcialmente por dois quartos de círculo sendo o centro destes os postes correspondentes. Era então de grande interesse detectar esses círculos para poder haver uma localização da linha de seis metros. Numa fase mais avançada do projecto foi possível através desta localização saber qual a direcção do campo na imagem (Horizontal, Vertical) tal como saber o local aproximado da baliza e do meio-campo.

Um método possível para se obter a detecção de círculos numa imagem é através da Transformada de Hough, identificada em OpenCV como `cvHoughCircle`.

4.5.2 – Transformada de Hough

A função `cvHoughCircle` [20] usa o método de gradiente de Hough para determinar os círculos detectados, para tornando o processamento da transformada de Hough mais rápida e sem o recurso à utilização de muita memória computacional.

O gradiente de Hough tem como entrada uma imagem inicial que tenha sofrido uma detecção de bordas, neste caso com o método de Canny. O passo seguinte é a aplicação do operador de Sobel para calcular os gradientes dos pontos não zero da imagem. O cálculo destes gradientes permite assim determinar, através da inclinação deste, cada ponto pertencente a uma linha consoante uma distância mínima e máxima e também com a localização dos pontos, sendo estes depois armazenados num acumulador. A relação entre esses pontos permitirá obter possíveis centros circulares. A selecção será efectuada utilizando um threshold mínimo e também seleccionando os pontos com um threshold maior em relação aos seus pixels vizinhos.

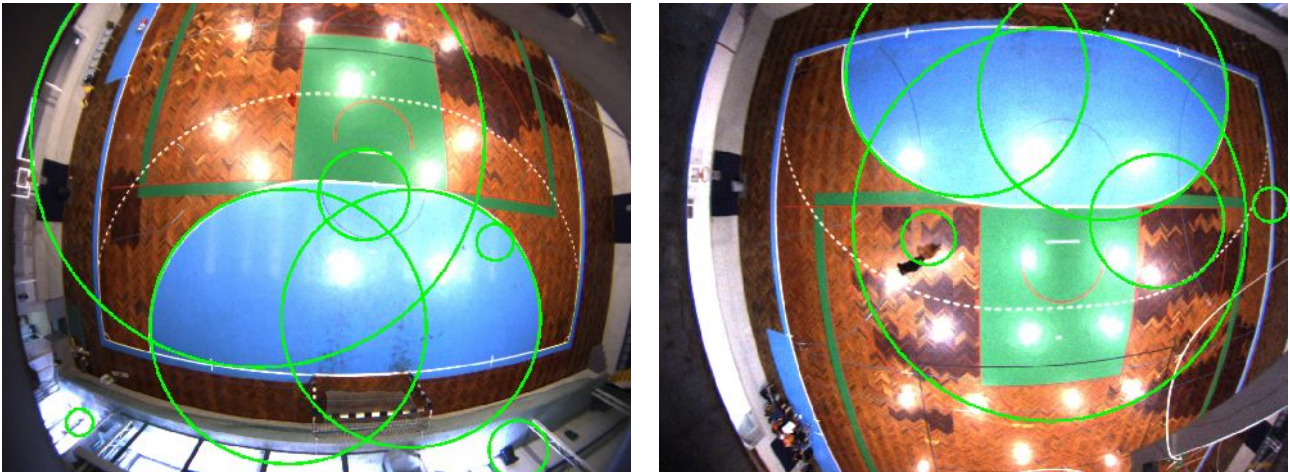
Depois de obtidos os centros mais promissores estes serão analisados um a um, usando o acumulador anteriormente criado. O critério de selecção dos centros circulares será efectuado considerando a distância entre cada valor a esse centro e o quantidade de pontos que tem uma distância semelhante.

4.5.3 – Configuração `cvHoughCircle`

A escolha dos parâmetros para a função `cvHoughCircle` foi bastante complicada sendo só obtidos bons parâmetros após muitas tentativas e muitos exemplos revistos. [1]

`cvHoughCircle(Imagem_Binarizada_Canny, Vector_Circulos, Método, Distancia_Minima, Parametro_Canny, Parametro_Numero_Circulos_Detectados)`

4.5.4– Imagens Obtidas



Figuras 4.12 – Aplicação de transformada de Hough para a detecção de círculos

As figuras anteriores ilustram o facto de este método não ser completamente seguro visto que determina círculos existentes e não existentes na realidade. O que é detectado automaticamente são arcos que posteriormente são prolongados formando círculos. Como se pode observar nas imagens as linhas de 6 metros são constituídas por quartos de círculos, ou seja, arcos de uma circunferência o que permite assim determinar uma circunferência originada por esses arcos.

5 – Reconhecimento de Pontos Interessantes

5.1- Introdução

No capítulo anterior foram usados diversos métodos para a obtenção de pontos e círculos interessantes para a detecção dos elementos principais do terreno de jogo. Os dados obtidos todavia não identificam quais são os pontos principais tendo então este capítulo como principal objectivo demonstrar e explicar de que forma foram filtrados esses pontos.

A primeira abordagem foi determinar quais os círculos que sobrepõem a linha de 6 metros para, consequência, ser possível a obtenção dos locais onde existe a intersecção entre esta linha e a linha de fundo. Para a determinação destes locais foi então desenvolvido um algoritmo capaz de identificar e otimizar os semicírculos pertencentes à linha de área e relacionar com os pontos adquiridos anteriormente.

A importância deste passo anterior é notória porque permite, assim, situar a linha de fundo e consequentemente localizar os restantes pontos da imagem.

Após a realização do passo anterior foi implementado um algoritmo de varrimento para a detecção dos cantos. Finalmente, para ser possível a construção de um padrão de tabuleiro de xadrez, é preciso localizar o último ou os últimos pontos que pertençam às linhas laterais e que estejam mais distanciados dos cantos.

5.2– Localização dos Quartos Círculo da Linha de 6 metros

O algoritmo desenvolvido para este efeito é constituído por algumas fases de filtragem de pontos provenientes de funções anteriormente referidas.

5.2.1– Limiar de Raio dos Círculos

Observando a figura contida na alínea 4.5.4 conclui-se que os círculos obtidos pela função `cvHoughCircle` tem raios variados. Seguindo esta abordagem existem vários círculos com raios de pequena e grande dimensões que não são relevantes para a análise. Foi necessário então definir um intervalo máximo que determinasse os círculos mais ajustados. O valor máximo do intervalo foi definido como o do raio do círculo, proveniente da função `cvMinEnclosingCircle`, que contorna o campo. Esta escolha foi feita devido ao facto de o raio do contorno do campo, mesmo que só esteja presente na imagem a linha de 6 metros, não ser superior ao raio das circunferências que definem a linha de 6 metros. Como se pode observar na imagem alterada nunca ocorreria o caso anterior:

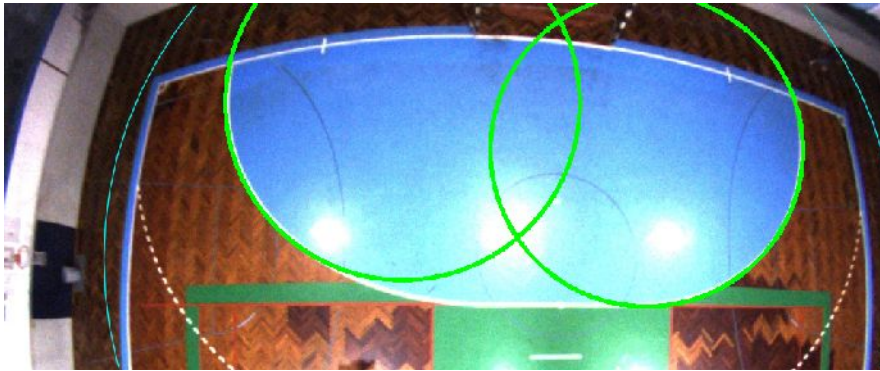


Figura 5.1 – Enxerto dum campo de andebol só com linha de 6 metros. Detectados círculos a verde e contorno do campo a azul turquesa

5.2.2– cvGoodFeaturesToTrack vs cvHoughCircle

5.2.2.1 – Índices dos Pontos Cada Circulo

O passo subsequente passar por relacionar os círculos filtrados com recurso aos pontos obtidos pela função cvGoodFeaturesToTrack. Era necessário então analisar para cada um dos centros dos círculos quais os pontos que estariam mais próximos. No caso da distancia entre a coordenada do centro de circunferência e as coordenadas dos pontos obtidos, estar abaixo dum certo limiar então esse ponto seria inserido numa nova matriz correspondente à circunferencia analisada. Nessa matriz são inseridos o circulo analisados, os pontos correspondentes a cada circunferencia e as distancia destes ao centro da circunferência. Para optimizar a circunferência definida por estes pontos, foi calculada uma media das distancias até ao momento inseridas na matriz.

Circulo	Numero Ponto	RaioCircunferencia	Dist Pon(x,y) CentroCircunf(xc,yc)	Media da Distancia
1	55	143.155	142.454	142.454
1	146	143.156	143.587	143.021
1	160	143.157	138.857	141.633
1	164	143.158	139.342	141.06
1	213	143.159	142.602	141.368
1	223	143.160	140.919	141.294
1	242	143.161	144.697	141.78
1	246	143.162	147.001	142.432
2	97	129.047	125.093	125.093
2	162	129.048	130.37	127.731
2	211	129.049	133.046	129.503
2	212	129.050	127.143	128.913
2	230	129.051	127.5	128.63
3	22	365.262	365.978	365.978
3	63	365.263	369.567	367.773
3	67	365.264	365.203	366.916
3	73	365.265	362.625	365.843
3	76	365.266	368.635	366.402
3	109	365.267	360.935	365.491
3	171	365.268	363.072	365.145
3	181	365.269	360.472	364.561
3	189	365.270	362.271	364.306
3	242	365.271	362.927	364.168
3	250	365.272	366.231	364.356
3	252	365.273	365.657	364.464

Tabela 5.1 – Pontos indicados a cada circulo

5.2.2.2 – Determinação dos 3 melhores Pontos da Circunferência

No caso de se verificar a não existência de pelo menos três pontos relacionados com o círculo analisado então tanto este como os correspondentes pontos não serão considerados futuramente. Isto resulta do facto de só ser possível calcular uma expressão de uma circunferência com o mínimo de 3 pontos.

Dada a equação de uma circunferência:

$$(x-a)^2+(y-b)^2=r^2$$

Onde a e b são as coordenada x e y dum ponto, respectivamente, pertencente à circunferência com centro (x,y), obtêm-se a equação geral:

$$x^2+y^2+2.A.x+2.B.y+A^2+B^2-r^2=0$$

Analisando a equação geral da circunferência verifica-se que é uma equação com três incógnitas (x,y,r). Usando-se então 3 pontos, obtêm-se um sistema de três equações para três variáveis.

Esta restrição também serviu como meio para filtrar outros círculos não desejados.

Sabendo-se então que são necessários três pontos para se otimizar os círculos obtidos foi criado um algoritmo que calculasse os dois pontos, pertencentes a um dos círculos, mais separados entre si sendo o terceiro ponto escolhido aleatoriamente dentro dessa lista visto que não tem influencia directa nos círculos calculados. A determinação destas variáveis foi efectuada através da regra de Cramer.

5.2.3 – Círculos Secantes

Visualizando de novo a imagem , os círculos pertencentes à linha de seis metros são secantes, ou seja, intersectam-se em dois pontos. Rapidamente se conclui que deste modo é possível filtrar círculos isolados na medida em que estes não são os pretendidos. A determinação matemática que permite aferir se os círculos são secantes é fácil e intuitiva. Apenas será necessário verificar se a distancia entre dois centros de circunferência é menor que a soma dos dois raios. Contudo verificou-se que este filtro não era o suficiente para isolar as circunferências pretendidas.

5.2.4 – Identificação de Pontos Muito Interessantes (PMI'S)

A formação dos círculos que sobrepõem a linha de seis metros são constituídos por dois pontos que unidos através de um segmento, em casos de imagens não distorcidas, formam a linha de 6 metros. Identificando-se esses pontos, denominados neste documento como PI6's, é possível desenvolver uma estratégia para se localizar espacialmente a linha de fundo. Sabendo-se então esses pontos também será possível, com o uso de um terceiro ponto conhecido, determinar a direcção do campo (Horizontal ou Vertical) e o sentido da baliza em relação ao meio campo.

Com a análise da imagem, o terceiro parâmetro que poderia permitir localizar tanto os PI6's como os círculos era o centro da circunferência que contorna o campo de jogo.

Localizando o centro do contorno, este apresenta-se em todas as circunstancias próximas do meio do campo, ou seja, os círculos que se pretendem estão sempre localizados entre o centro do contorno e os pontos pretendidos. Contudo devido à localização não exacta dos pontos houve uma preocupação dominante com o facto da imagem estar distorcida. Estando a imagem distorcida poderia influenciar a localização dos pontos em relação aos círculos, tal como acontece em todas as figuras até ao momento apresentadas.

No entanto quando a imagem sofre uma distorção os centros das circunferências também tem um movimento radial tornando assim viável esta solução.

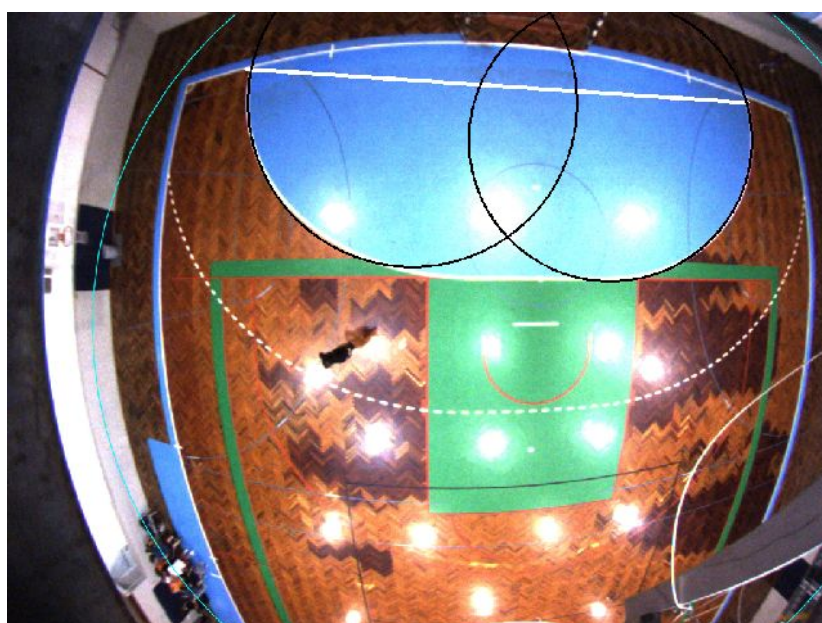
Usando-se os pontos provenientes do método indicado no capítulo 4.4.5 deste documento, serão considerados todos os que tenham uma distancia aos centros das circunferências da linha de 6 metros inferior à distancia ao centro do contorno.

Diminuindo-se ainda mais essa lista de pontos, é necessário verificar as seguintes particularidades:

- *A distancia entre dois pontos tem que ser menor que a soma dos raios das circunferências sobrepostas à linha de 6 metros*
- *A distancia entre dois pontos tem que ser maior do que os raios de cada um dos círculos .*

5.2.5– Imagens Obtidas

-



Figuras 5.2 - Círculos Optimizados e Segmento de recta a Branco formado pelos pontos PI6'S

As figuras anteriores demonstram que este método além de otimizar os círculos também determina dois dos pontos pretendidos.

5.3 – Detecção de Cantos

Após a obtenção dos pontos de intersecção da linha de seis metros a linha de fundo é necessário determinar os cantos do terreno do jogo. Para este objectivo foram considerados dois tipos de abordagem.

5.3.1– Pontos Sequenciais

A primeira abordagem efectuada foi relativamente ao estudo da lista de pontos provenientes do método apresentado no capítulo 4.4.5. Sabendo-se que essa lista é sequencial e considerando que na maior parte dos casos, caso não haja ruído na imagem analisada, foi considerado inicialmente que os cantos estão localizados antes e depois dos pontos de 6 metros visto que não existem nenhuns pontos identificaveis entre eles. Esta resolução tornava assim muito fácil no acesso a estes pontos. Contudo é possível observar, nas figuras seguintes, pode-se observar que esta abordagem afigura-se incorrecta:

5.3.1.1– Imagens Obtidas



Figura 5.3 – Numeração de Pontos Obtidos através da função cvGoodFeaturesToTrack

Analisando as imagens consegue-se concluir o problema em usar esta estratégia. A função `cvGoodFeaturesToTrack` tem a particularidade de determinar os contornos considerando todas as bordas existentes à volta dum determinado objecto o que se pode facilmente verificar nos pontos da linha dos 6 metros. Neste caso a função concluiu que as bordas das linhas em volta do campo de jogo eram diferentes das constituídas pela linha dos 6 metros. Pode-se verificar que os pontos destas linhas não são directamente sequenciais entre si. Citando um exemplo, o ponto localizado num dos cantos, apresenta um determinado valor x . O ponto seguinte não apresenta como seria de esperar, um valor $x+1$ precisamente por constituir a linha dos 6 metros e não as linhas do contorno ao campo.

5.3.2– Varrimento de Imagem

Sabendo-se que existe uma distorção do tipo barril em todas as imagens provenientes deste sistema, conclui-se que os cantos por comparação aos pontos de intersecção entre a linha de 6 metros com a linha de fundo estão mais próximos da linha do meio campo.

Os métodos de varrimento virtuais são bastante lentos devido ao numero de iterações necessários. Neste caso, com o conhecimento da localização aproximada dos cantos em relação aos pontos de 6 metros anteriormente determinados tal como os centros das circunferências da linha de 6 metros, não é necessario analisar toda a imagem.

Para se determinar o local onde o varrimento vai ser iniciado é então determinada a recta formada pelos pontos de 6 metros enquanto que o valor máximo vai ser um dos centros das circunferências das linhas de 6 metros. Considerando a expressão geral duma recta:

$$y = mx + b$$

aonde m é o gradiente da linha e b o local onde a recta intersecta o eixo de y conclui-se que existem duas incógnitas para uma equação. Usando dois pontos, com coordenadas (x,y) , pertencentes a recta é possível calcular então estas variáveis b e m através de um sistema com duas equações para duas incógnitas.

Após a determinação da equação geral da recta é calculada a coordenada x para $y=0$:

O calculo de x é necessário para posteriormente ser alterado de modo iterativo, consoante o sentido do campo analisado. A alteração de x implica então a determinação de uma nova equação geral sendo esta então calculada mantendo o gradiente constante e calculando um novo b .

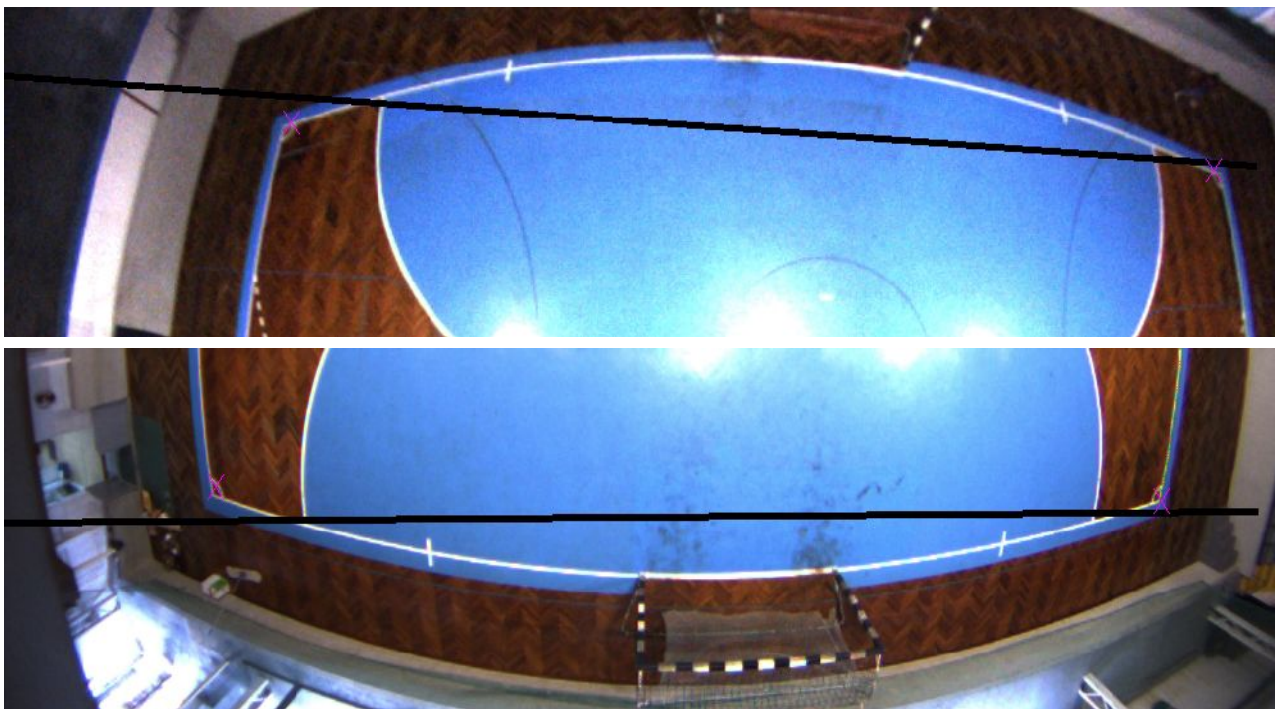
$$0 = m \cdot \underbrace{(x_0 + 1)}_{x_1} + b_1 \Leftrightarrow b_1 = -m \cdot \underbrace{(x_0 + 1)}_{x_1}$$

Iterando assim sucessivamente entre os intervalos estipulados, será considerado um ponto que se sobreponha à nova recta criada. Após se obter um ponto será verificado qual dos restantes pontos da lista que se regem às seguintes regras:

- *A distancia entre o ponto inicialmente considerado e o ponto analisado terá que ser maior que a distancia entre os pontos localizados nas circunferências de 6 metros.*
- *Os pontos analisados terão que estar localizados entre o intervalo defenido anteriormente.*
- *Os pontos analisados terão que estar localizados a uma certa distancia mínima relativamente à recta analisada.*
- *Os pontos analisados terão que ter uma coordenada xx ou yy maior/menor que a recta no momento usada (dependendo da direcção e do sentido do campo)*

No caso de não haver nenhum ponto detectado então é iterado um novo x .

5.3.2.1– Imagens Obtidas



Figuras 5.4 – Aplicação de varrimento de imagem para a detecção de cantos. (A preto a procura de um ponto a partir dos pontos pertencentes à linha de 6 metros, A rosa são só pontos identificados)

5.3.3– Correção de Imagem

Este método foi baseado num método proposto [9], em que o objectivo é corrigir iterativamente a imagem, através dos parâmetros intrínsecos e um coeficiente radial (k_1) bastante reduzido. Considerando assim um coeficiente k_1 com um valor na ordem de $1 \cdot 10^{-7}$, em cada correcção da imagem a analisar é aplicada a transformada de Hough para a detecção de linhas (cvHoughLines). A ideia fundamental será detectar o momento em que o numero de linhas detectadas for mínimo, ou seja o numero de curvas existentes na imagem for reduzido, para ser possível localizar os pontos pertencentes às linhas detectadas.

É importante referir que para este problema é irrelevante se a imagem está completamente corrigida, normalmente não o sendo devido ao uso de parametros intrinsecos aproximados.

Analisando uma curva pode-se concluir que esta é formada por muitos e pequenos segmentos de recta. No caso de imagens distorcidas, como normalmente são apresentadas mais curvas detecta-se um maior numero de segmentos de rectas devido ao facto de uma curva ser composta por vários segmentos como se pode observar na figura 5.6. Em imagens não distorcidas esse numero de segmentos será bastante mais reduzido, dependendo do tipo de objectos observados, pelo facto de haverem menos curvas. No caso da figura 5.7 é identificavel somente dois segmentos em volta de uma linha recta confirmando assim o anteriormente referido. [5]



Figuras 5.5 – Aplicação da função cvHoughLines numa curva e numa recta

Continuando a aplicar o coeficiente radial na imagem depois de esta já estar corrigida, esta passa a sofrer de distorção do tipo Pin-Cushion. Tal como já foi demonstrado anteriormente no capítulo 2.2.2.2, as linhas tendem a “deformar-se” novamente formando assim novas curvas permitindo assim detectar mais segmentos de recta.

Os principais inconvenientes no uso deste método é relativo ao calculo dos parâmetros intrínsecos, ao numero incerto de iterações e à necessidade de otimizar e configurar tanto o detector de bordas de Canny como a transformada de Hough.

Seria particularmente interessante utilizar este método para a determinação dos cantos visto que estes ao serem intersectados pelas linhas de fundo e laterais, com uma imagem suficientemente corrigida e consequentemente um numero de rectas identificaveis relativamente pequeno, seria possível identificar as linhas pretendidas. Contudo os pontos detectados também poderão não ser os pretendidos pois a possibilidade de existir mais rectas a intersectar outros pontos será bastante grande.

A escolha deste método foi considerado no inicio do projecto mas devido a estes últimos factores antes referidos não foi logo posto em pratica.

5.3.3.1– Determinação dos Parâmetros Intrínsecos

Tal como já foi referido anteriormente os parâmetros intrínsecos de uma câmara são definidos por:

$$sm' = A[R|t]M'$$

ou

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

onde:

(cx,cy) – centro da lente

(fx,fx) – lente focal

[R|t] – Matriz de Translação rotacional

(X,Y,Z) – Coordenadas 3D de um ponto

(u,v) – Coordenadas 2D de um ponto

s – factor de escala

Para o calculo, mas só aproximado, do centro da lente c_x e c_y usou-se as coordenadas do centro do contorno envolvente o campo de jogo enquanto que f_x e f_y foi calculado considerando o raio de uma das circunferências que formam a linha de 6 metros.

Estes valores, mesmo sabendo-se que não são os ideais, permitiram obter resultados para uma análise mais aprofundada deste método.

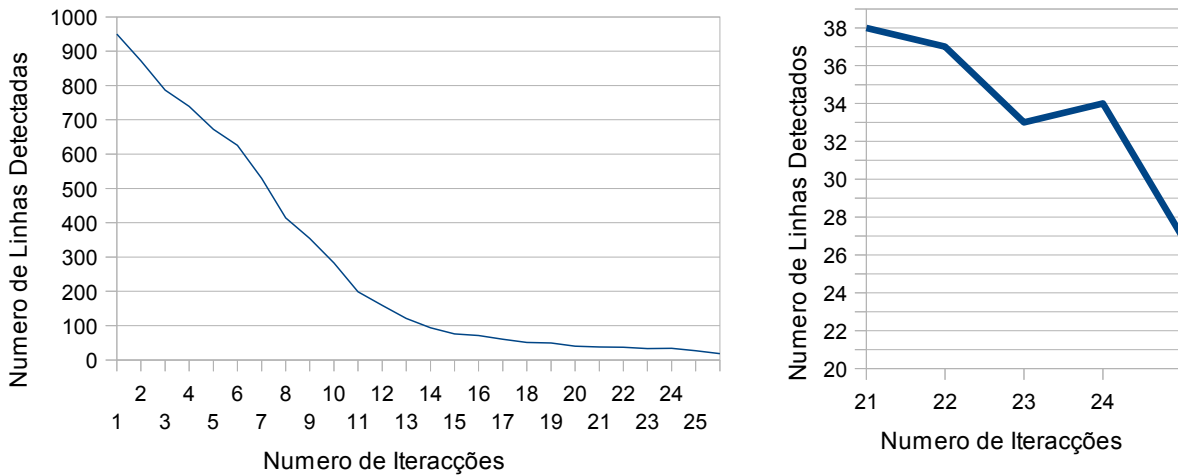
5.3.3.2– Escolha do coeficiente radial k1

A escolha dos coeficientes radiais e tangenciais, no seu conjunto, é bastante complexa. Para facilitar a implementação deste método só foi então considerado o parâmetro k1 visto que não era necessário recorrer aos restantes coeficientes.

O valor de k_1 então escolhido foi $k=1e-6$, o que é o suficientemente baixo para ser possível obter com relativa precisão o momento exacto em que a imagem está completamente corrigida e consequentemente o número de linhas for mínima.

5.3.3.3-Dados Obtidos

Usando então sempre um k_1 constante para todas as imagens corrigidas e configurando o detector de bordas de Canny foi possível obter-se o seguinte gráfico:



Figuras 5.6 – Numero de linhas detectadas pela transformada de Hough ao longo da correcção da imagem, Extracto entre a iteração 21 a 25

Na iteração 23 é possível obter a imagem correspondente ao mundo real sendo o número de segmentos detectados de 33 enquanto que na iteração 24, na qual se obtêm uma imagem já com uma pequena distorção do tipo Pin-Cushion, o numero de linhas é de 34. Verificou-se então um pequeno aumento do numero de linhas detectados mas verificou-se que ao continuar a usar-se a “correcção” de imagem o numero de linhas foi diminuindo como se pode verificar no gráfico 5.9.

Um dos principais problemas em questão foi na configuração da função `cvHoughLines` visto que em cada uma das imagens para se obter um resultado mais preciso dos segmentos detectados era necessário o uso de parametros especificos. Como para a obtenção de uma imagem quase correcta era necessário iterar várias vezes, foram considerados parametros fixos sendo os resultados por vezes não correspondentes.

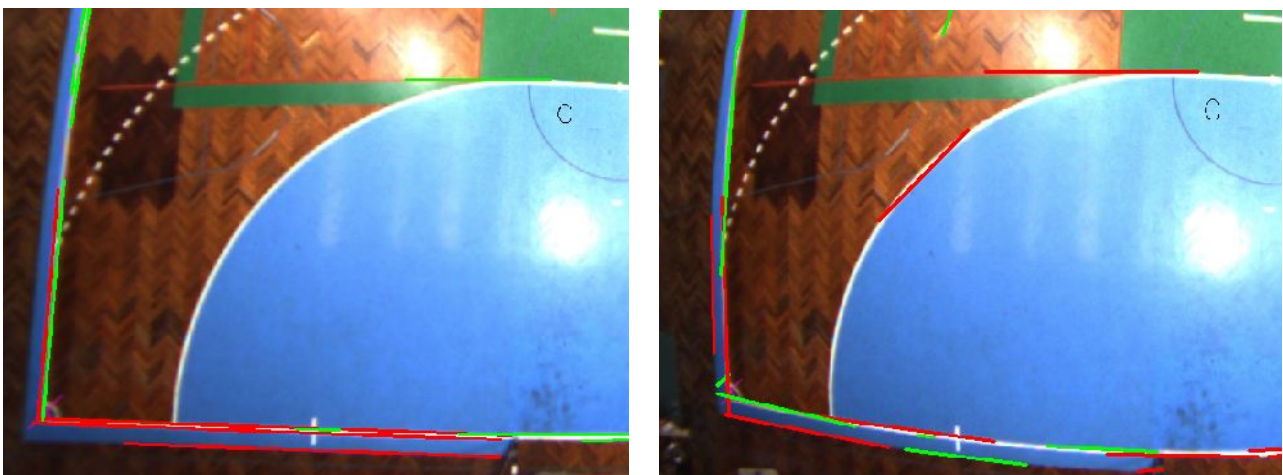
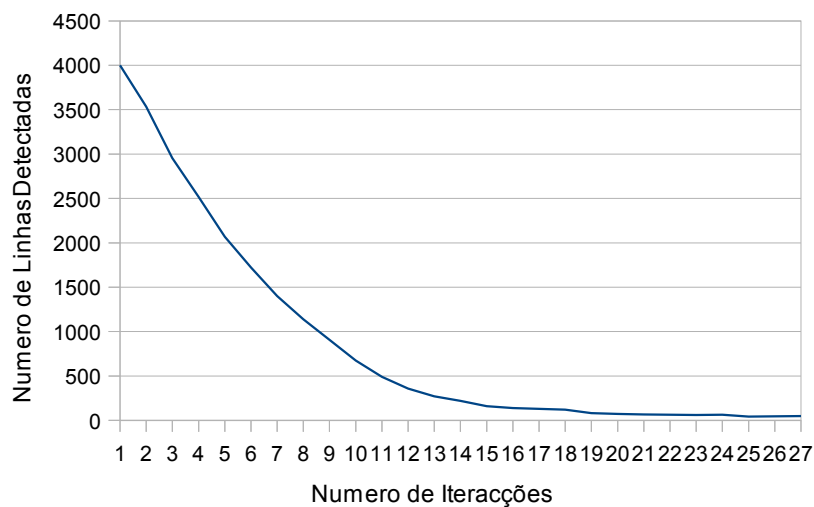


Figura 5.7 – Aplicação `cvHoughLines` em imagens corrigidas (esquerda) e não corrigidas (direita)

Para se tentar obter resultados mais conclusivos foi alterada a configuração para se obter um maior número de bordas detectadas.



Figuras 5.8 - Numero de linhas detectadas pela transformada de Hough ao longo da correcção da imagem

Tal como no caso anterior não havia uma subida significativa no numero de linhas detectadas, não permitindo assim determinar quando é que havia linhas aproximadas aos cantos da imagem. Apesar de tudo concluiu-se que ao arranjar-se a imagem correcta seria possível definir as rectas envolventes ao campo através da função `cvHoughLines`.

5.4 – Detecção de Pontos pertencentes às Linhas laterais

Para a formação de um padrão axadrezado será necessário detectar um último ponto pertencente a uma das linhas de fundo. Sabendo-se a localização dos cantos alguns dos métodos anteriormente referidos foram revistos, tais como:

- *Pontos Sequenciais*
- *Varrimento de Imagem*
- *Correcção de Imagem*

5.4.1– Pontos Sequenciais

Este método não foi eficaz novamente porque em alguns casos os pontos pretendidos não se situavam nas posições esperadas devendo-se principalmente ao ruído presente no campo de jogo, tornou-se assim um método não eficaz.

Para se tornar possível o uso desta metodologia seria necessário haver sucessivas comparações de distâncias e ângulos entre pontos mas devido à assimetria do campo, provocado pelo afastamento do centro da lente, torna-se bastante complicada e imprecisa esta solução.

5.4.2- Varrimento de Imagem

Utilizando-se novamente a técnica de varrimento de imagem mas desta vez considerando a imagem completa, o pretendido passaria por obter alguns pontos aproximadamente simétricos principalmente os

pontos localizados na intersecção da linha de nove metros com as linhas laterais. Devido à assimetria existente nas imagens face à distorção registada e ao facto do centro da lente (c_x, c_y) não ser o ideal, os resultados poderiam eventualmente não ser os pretendidos.

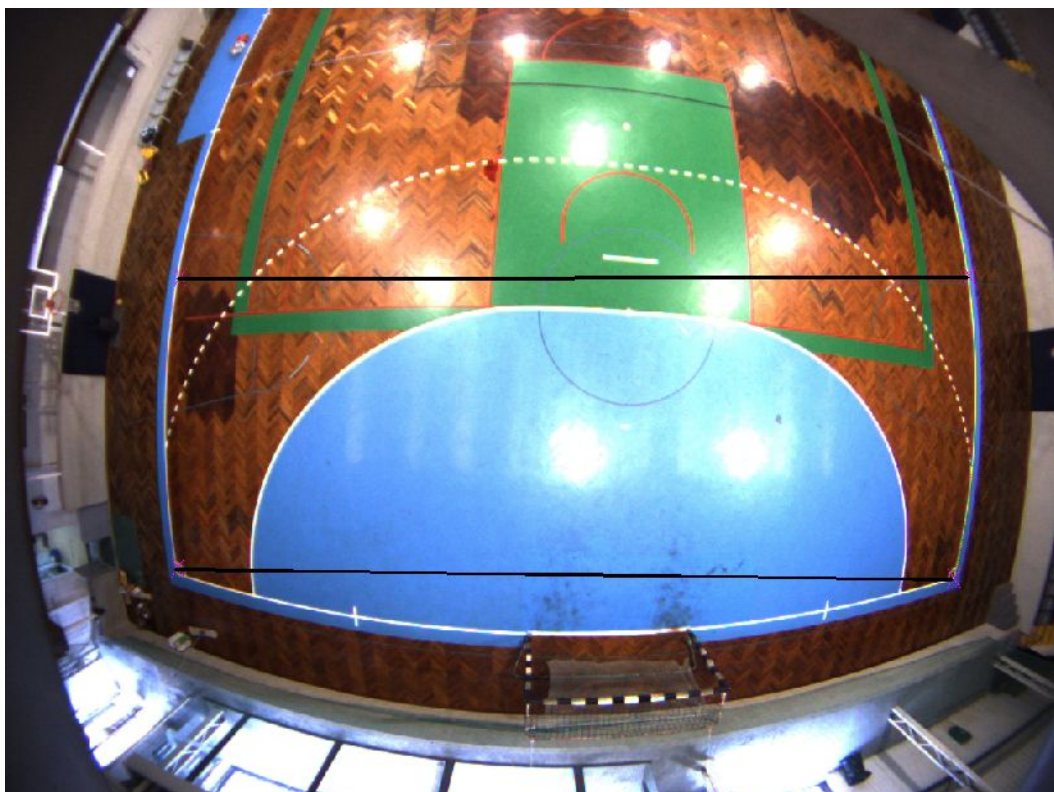
A dificuldade deste problema aumenta se, na imagem analisada, não estiver presente a linha do meio-campo porque não existem três pares de pontos de referencia (Cantos, Pontos da linha de nove metros, meio-Campo) que indiquem os diferentes locais nas diferentes linhas laterais.

Outro factor importante, considerado no inicio do desenvolvimento deste algoritmo, corresponde aos pontos analisados que provêm do ruído presente na imagem. A imagem sofrendo assim de distorção em barril como não são conhecidos os limites exteriores do campo, torna complicado a identificação de quais são os pontos não relevantes.

Esta dificuldade na localização espacial dos pontos foi prevista inicialmente, estipulando-se assim resultados não tão bons como os obtidos no capítulo 5.3.2. A principal diferença do algoritmo do capítulo anteriormente referido e o actual, é que no algoritmo para a detecção dos cantos e conhecido à priori um intervalo da localização dos cantos, permitindo assim melhores resultados. Neste algoritmo como é analisada a imagem por completo não existe nenhuma zona para uma identificação e localização segura dos pontos pretendidos.

Contudo foi aplicado este método sendo os resultados finais, tal como foi previsto, não conclusivos tal como se pode observar nas imagens da próxima subsecção.

5.4.2.1- Imagens Obtidas





Figuras 5.9 – Aplicação de algoritmo varrimento em toda a imagem para a localização de pontos pertencentes às linhas laterais

Nas imagens anteriores apresentam-se diversos segmentos de recta nos quais as suas extremidades são os pontos encontrados por este método.

Os pontos detectados não são previsíveis devido ao facto de alguns destes, observando a figura de baixo, são originados pelo ruído. Na figura inferior observa-se que foram identificados, além dos cantos, os pontos localizados na intersecção da linha dos nove metros com a linha de fundo mas também foram recolhidos pontos sem qualquer relação aparente sendo um destes nem sequer situar numa das linhas laterais.

Enquanto que na imagem superior, além dos cantos também foram identificados mais dois pontos mas estes não se situam em nenhum dos lugares previstos inicialmente como também não se sabe computacionalmente se estes se situam realmente dentro ou fora do campo de jogo.

5.4.3– Correção de Imagem

Nesta fase do projecto já se encontram reconhecidos todos os segmentos de referencia que permitem prever quando a imagem se melhor ajusta a realidade. Com o intuito de se conhecer os restantes PI's do campo foi estudada uma nova solução para este efeito. Sabendo-se os cantos e os PI6's e também sabendo-se que estes pertencem à mesma linha de fundo, foram desenhados as suas ligações correspondentes, tal como se pode verificar na imagem seguinte:



Figuras 5.10 – Segmentos de Recta Formados pelos cantos e por pontos na linha de 6 metros

Como se pode observar nas imagens anteriores os segmentos de recta não se intersectam entre si. Isto acontece devido à distorção do campo de jogo. Tendo em conta este factor, considerou-se detectar o momento em que os quatro pontos ficarão sobrepostos a uma só recta, ou seja, detectar o momento da sobreposição entre os dois segmentos de recta. Considerando os mesmos parametros intrinsecos e o mesmo coeficiente radial usados na sub-secção 5.3.3, obteve-se o seguinte gráfico correspondente à intersecção dos segmentos de recta, anteriormente referidos, com o eixo dos yy.

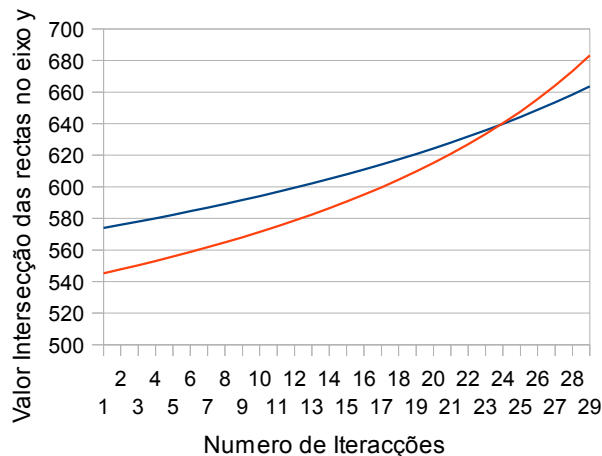


Figura 5.11 – Ponto de Intersecção no eixo dos yy dos segmentos de recta

Facilmente se verifica o momento da intersecção dos dois segmentos. É importante referir que este método funciona somente segmentos pertencentes à mesma linha visto que no momento de correcção ambas tem que se sobrepor.

Considerando então a metodologia do capítulo 5.3.3 mas com a única diferenciação o método de paragem de correcção, obteve-se uma imagem corrigida aplicando-se de seguida a transformada de Hough para detecção de linhas. Obtendo-se os resultados identifica-se os pontos iniciais e finais de cada segmento

de recta para de seguida ser localizar quais os extremos que mais próximos se situam dos cantos.

Determinando-se então finalmente quais as rectas correspondentes ás linhas laterais, determina-se quais os restantes PI's que se localizam nestas.

Deste modo foi então possível detectar automaticamente todos os pontos pertencentes as linhas laterais para se obter o inicialmente desejado.

6 – Determinação e Optimização de Parâmetros Intrínsecos

Actualmente existem muitos métodos usados para a o calculo dos coeficientes de distorção e dos parâmetros intrínsecos da câmara. Todos os métodos revistos necessitam de uma identificação de pontos pertencentes as curvas presentes numa imagem distorcida para ser possível determinar uma expressão matemática que defina a curvatura das curvas.

Existindo diversas metodologias para a determinação da curvatura foram identificados alguns métodos que se baseiam no uso de uma grelha ou de um padrão para a estimação dos parâmetros intrínsecos da lente, tal como está indicado no sub-capitulo 2.3. O uso de uma padrão requer o conhecimento somente de alguns pontos pertencentes ao contrário de outros métodos que necessitam de bastantes mais pontos nomeadamente o ponto maximo da curvatura e o centro da sua curvatura. [

Analisando os métodos conhecidos e comparando-os com os objectivos pretendidos, para ser possível uma obtenção automática e rápida do modelo de Brown-Conrady, foi concluído que o melhor método seria o uso de um padrão. Contudo nas imagens analisadas não são identificaveis nenhum aparente xadrez ou outro tipo de padrão, sendo então necessário criar um virtualmente através das linhas paralelas e perpendiculares conhecidas na imagem.

Depois da implementação do padrão são determinados os seus pontos para defenir um conjunto de curvas e consequentemente determinar os parametros intrinsecos e os coefecientes radiais e tangenciais. Aplicando-se a expressão de Brown-Conrady obtêm-se então uma imagem corrigida.

Para determinar a qualidade da imagem obtida são determinados os erros de aproximação entre os pontos reais e os pontos não distorcidos.

6.1– Métodos no Calculo de Parâmetros Temporários com um Padrão Virtual

Os coeficientes de distorção, tal como já foi indicado anteriormente, caracterizam-se por serem radiais e tangenciais. Para este projecto atendendo às restrições existentes do Opencv só são considerados três parâmetros radiais (k_1, k_2, k_3) e dois tangenciais (p_1, p_2) enquanto que para os parâmetros intrínsecos são considerados f_x, f_y, c_x e c_y sendo c_x e c_y as coordenadas do centro real da imagem e f_x e f_y as distancias focais, para x_x e y_y respectivamente, estas que são expressas em pixeis.

Os coeficientes de distorção estão relacionados directamente com o posicionamento geométrico, em duas dimensões, dos pontos pertencentes a um padrão enquanto que os parâmetros intrinsecos da lente estão relacionados com a localização espacial desse mesmo padrão mas em três dimensões.

Considerando então esses pontos interessantes, apresentam-se sempre, de acordo com a geometria do padrão, em coordenadas x e y permitindo assim uma análise do conjunto de pontos com uma só perspectiva.

No caso dos parâmetros intrínsecos o seu cálculo envolve o uso de diferentes perspectivas de um padrão. Isto é devido ao facto de ser necessário haver um relacionamento em 3D entre as diferentes posições do padrão podendo estes apresentar-se com diferentes inclinações em ordem dos eixos x , y e z .

Compreendendo-se assim a forma de se obter os parâmetros intrínsecos e os coeficientes de distorção foram feitas diferentes abordagens.

6.1.1-Escolha de Padrão

A grande questão inicialmente colocada era como e qual a forma do padrão se devia construir na imagem distorcida. Tal como está referido no sub-capítulo foram identificados dois principais tipos de padrões possíveis de se construir:

- *Padrão Axadrezado*
- *Circulo com quatro rectas a intersectar o seu centro*

A primeira análise a ser feita era o tipo de imagem que se tinha e quais os possíveis objectos que mais se assemelham aos padrões a usar.

Até ao momento foi demonstrado existirem dois quartos de círculos pertencentes à linha de seis metros e um outro, determinado pela função `cvMinEnclosingCircle`, que define o contorno do campo do jogo. Apesar de se identificarem um numero considerável de círculos estes não apresentam qualquer aparente distorção devido ao facto de terem sido estimados e desenhados de modo aproximado a um círculo ideal concluindo-se automaticamente que este tipo de modelo não é uma solução viável para estes casos.

O padrão em xadrez, comparando com a imagem distorcida, será o padrão ideal para ser usado porque além de existir a possibilidade de se limitar o comprimento, a largura e o numero de pontos presentes no padrão também é o que se assemelha mais ao campo de jogo sendo consideradas as linhas laterais, a linha de fundo e a linha do meio, caso exista, como possíveis linhas exteriores do tabuleiro de xadrez.

6.1.1.1-Padrão Axadrezado Quadrático

Inicialmente foi considerado somente a apresentação dum padrão sem curvatura para se verificar os resultados obtidos eram suficientes para a detecção de parâmetros temporários.

Para se evitar a não perpendicularidade do padrão não foi considerado nenhum ponto reconhecido pertencente à linha laterais. O desenho do padrão foi efectuado então considerando como uma das linhas de extremo, o segmento de recta entre o canto Esquerdo e o Canto Direito tal como se pode observar an seguinte figura:

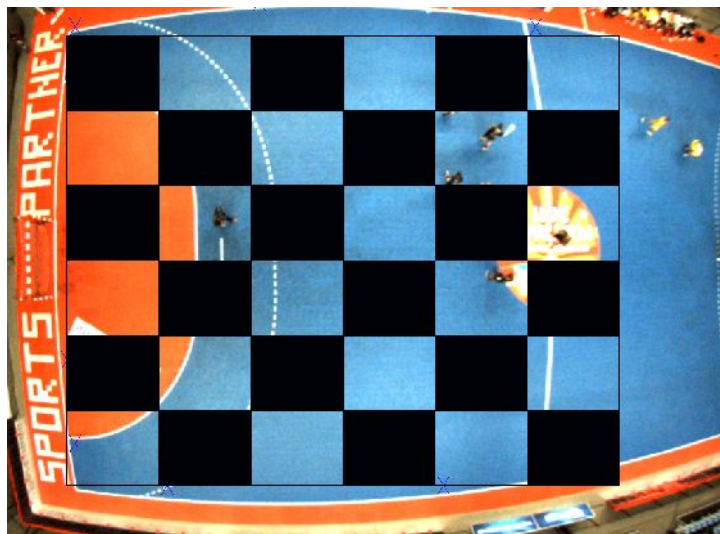


Figura 6.1 – Excerto de um campo de andebol distorcido com um xadrez virtual

Determinando assim uma das linhas mais extremas através da função cvLine, foram definidos com a mesma função as restantes linhas sendo desenhados seis segmentos de recta perpendiculares ao segmento de recta formado pelos dois cantos. De seguida foram desenhadas paralelamente a este ultimo segmento referido, cinco segmentos.

No momento em que são desenhadas estas linhas a aplicação desenha iterativamente os respectivos pretos e brancos de cada bloco quadrático do padrão. Esta implementação foi efectuada no inicio do projecto, sendo a imagem utilizada diferente das apresentadas até ao momento, visto que era a unica imagem obtida até ao momento.

Esta implementação como era esperado não teve exito visto que as linhas constituídas pelos pontos não registavam qualquer curvatura e consequentemente os parametros determinados serem relativos a uma imagem aparentemente não distorcida.

6.1.1.2-Padrão Axadrezado Distorcido

Foi analisado um segundo método para desenhar o padrão axadrezado tendo este como linha de extremo a linha de fundo e como outro extremo umas das linhas laterais. A ideia principal é simular virtualmente um padrão real, isto é, simular a existência no mundo real de um padrão axadrezado que, tal como outros objectos presentes na imagem, sofreu uma distorção. Esta opção foi resultado duma análise de diversas imagens distorcidas em que se apresentava, não virtualmente, um padrão deste género.

Foi então feita uma revisão ao trabalho até ao momento realizado para identificar uma opção viável para a implementação dum padrão distorcido na imagem.

Foram então definidas duas estratégias para ser possível sobrepor as linhas exteriores do padrão ás linhas de fundo e laterais:

- *Aproximação da curva por mínimos quadrados*
- *Correcção e Distorção da Imagem*

6.1.1.2.1 -Aproximação de curvas por mínimos quadrados

Para este objectivo foi considerado a aproximação de curvas por mínimos quadrados mas este tipo de abordagem implicava a localização de muitos pontos localizados entre ou sobre as curvas havendo também uma grande dificuldade em reunir suficientes pontos para se obter uma função razoavelmente boa que definisse de maneira exacta as curvas.

Apesar disso foi feita uma tentativa para ser implementado este método obtendo-se alguns pontos que se localizavam nas vizinhanças das curvas através de uma análise sucessiva à lista de pontos provenientes do sub-capitulo . Ao longo desta detecção também foi concluído que o numero de pontos para cada recta variavam e estes em alguns casos não formavam um conjunto razoavelmente bom para ser determinado com precisão as curvas pretendidas. Tornou-se assim um sistema não muito viável devido à sua instabilidade e à pouca confiança dada ao conjunto de pontos determinados.

Conclui-se que este método só seria ideal para casos em que o utilizador seleccionasse manualmente os pontos pretendidos sendo então não automático.

6.1.1.2.2 – Correcção e Distorção da Imagem

Alternativamente, ao método por aproximação de curvas por mínimos quadrados, foi reflectida um modo

possível para a obtenção dos pontos extremos. A maneira mais eficaz foi considerar todos os PI's da imagem e considerar, tal como anteriormente, os cantos do campo de jogo. Determinado até agora todos os pontos localizados nas linhas laterais determinou-se quais os pontos mais distantes ao canto da mesma linha.

Sabendo-se então os extremos do padrão pretendido seria necessário desenhar o padrão virtual na imagem sendo utilizado o mesmo modo de implementação referido no sub capítulo anterior, sendo obtido então um padrão quadrático numa imagem corrigida.

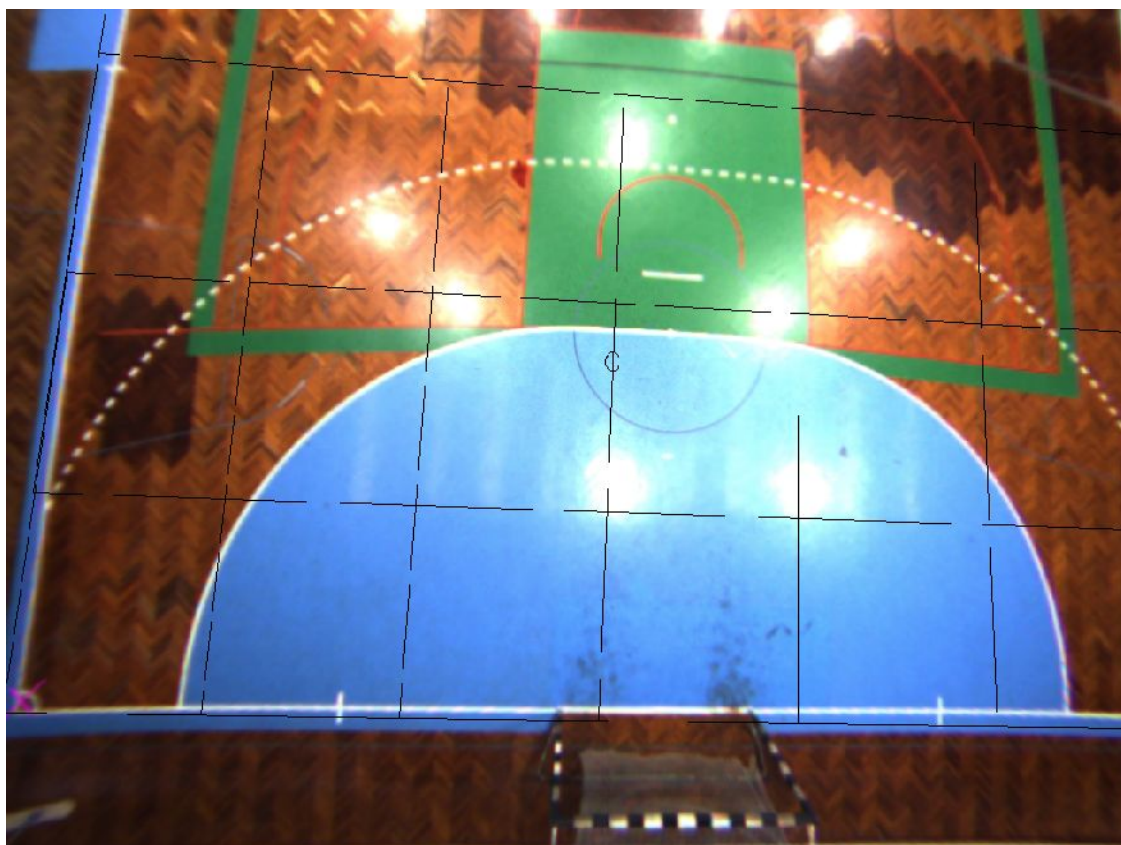


Figura 6.2 – Excerto de uma imagem corrigida com parametros não ideais e com um padrão inserido

Determinado um padrão não distorcido numa imagem também não distorcida, o objectivo era inverter o processo de correcção de imagem para se obter um padrão com distorção. Para se obter este efeito foram analisadas duas hipóteses:

- *Inversão do processo de Correcção de Imagem com um padrão desenhado*
- *Inversão do processo de Correcção de Imagem Calculando unicamente Pontos do Padrão*

Inversão do processo de Correcção de Imagem com um padrão desenhado

Do mesmo modo que foi corrigida a imagem também foi possível distorcer a imagem. Invertendo o único coeficiente usado no capítulo 5.4.3 obteve-se uma imagem inicial, mas desta vez com um padrão inserido nela. Os pontos pertencentes ao padrão sofreram uma distorção tal como o ocorrido com os outros pixéis da imagem. Esta hipótese não foi desenvolvida por concluiu-se que não era necessário distorcer a imagem com o padrão desenhado.

Inversão do processo de Correcção de Imagem Calculando unicamente Pontos do Padrão

Outra solução para o pretendido, sendo esta bastante mais rápida, era o calculo unicamente dos pontos interiores do padrão. Como a análise de curvatura vai ser unicamente efectuada a esses pontos então é

possível concluir que o desenho do padrão poderá ser evitável, só sendo necessário então determinar as coordenadas dos pontos pretendidos no momento em que a imagem está corrigida.

Invertendo os coeficientes usados no capítulo 5.4.3 e considerando então os pontos de interesse foi possível, iterativamente, calcular as novas coordenadas desses pontos distorcidos da realidade.



Figura 6.3 – Pontos respectivos de um padrão numa imagem distorcida

6.1.3-Detecção de Pontos Do Xadrez

Para imagens nas quais sejam apresentadas um tabuleiro de xadrez é necessário localizar os pontos interiores deste para a determinação dos parâmetros intrínsecos da câmara. A obtenção desses pontos é possível usando a função `cvFindChessboardCorners`. Apesar de não se usar esta função no caso de já se ter as coordenadas dos pontos interiores da imagem distorcida vai ser importante conhecer as especificações desta função, nomeadamente, como é que são representados os pontos detectados. Para se identificar os pontos existe a possibilidade de se usar como por exemplo, a função `cvDrawChessboardCorners` servindo unicamente como um meio de identificação.

6.1.3.1 – Configuração – `cvFindChessboardCorners` e `cvDrawChessboardCorners`

cvFindChessboardCorners(Input_Imagem_Com_Padrão_Cores,Input_Numero_Colunas_Numero_Linhas,OutPut_vector_Pontos,OutPut_Numero_Pontos_Encontrados)

cvDrawChessboardCorners(Input_Imagem_Com_Padrão_Cores,Input_Numero_Colunas_Numero_Linhas,Input_vector_Pontos,Input_Numero_Pontos_Encontrados)

6.1.4 – Calculo de Parâmetros Intrínsecos Temporários e Coeficientes de Distorção

Conhecidos os pontos que caracterizam a estrutura pretendida é necessário determinar os parâmetros intrínsecos da lente tal como os coeficientes de distorção.

Para este efeito foi usado a função `cvCalibrateCamera2` para determinar, através dos referidos pontos, o modelo matemático de Brown-Conrady.

6.1.4.1 - Dados Obtidos

Padrão Quadrático

Parametros Intrinsecos

$$fx= 5.31442813e+004$$

$$fy= 5.31442813e+004$$

$$cx= 5.65099365e+002$$

$$cy= 4.09050537e+002$$

Coeficientes radiais e tangenciais

$$k1=-5.19402733e+001$$

$$k2= 3.23944831e+000$$

$$k3= 2.85970837e-001$$

$$p1= 1.94506317e-001$$

$$p2=-8.82890236e-005$$

Padrão Distorcido

Parametros Intrinsecos

$$fx= 5.11650684e+003$$

$$fy= 5.11650684e+003$$

$$cx= 5.65123596e+002$$

$$cy= 3.19073364e+002$$

Coeficientes radiais e tangenciais

$$k1= -3.81031151e+001$$

$$k2= 1.72300110e+003$$

$$k3= -4.03035391e+004$$

$p1 = 1.26602665e-001$

$p2 = -2.57610101e-002$

6.1.5 – Imagem corrigida com Parametros Intrinsecos e Coeficientes Radiais e Tangenciais

Com a obtenção dos parametros pretendidos foi corrigida a imagem com o recurso aos valores obtidos.

Caso Padrão Quadrático

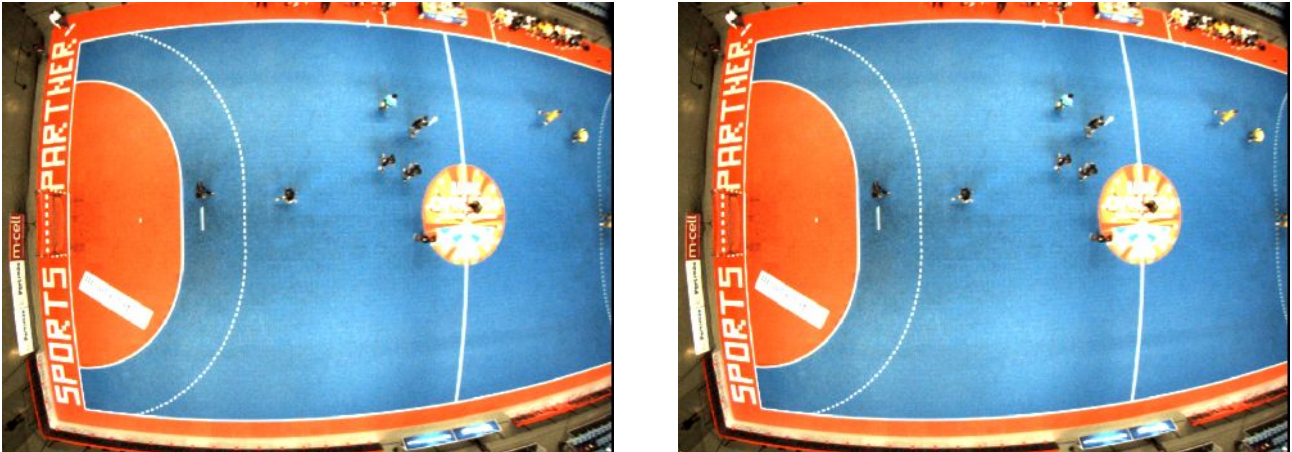


Figura 6.4 – Correção de imagem com parametros calculados por padrão não distorcido (Imagem Original – Esquerda , Imagem Resultante - Direita)

Facilmente se verifica na figura da direita que não houve nenhuma correção da distorção da imagem original (figura lado esquerdo) conferindo assim os resultados esperados.

Caso Padrão Distorcido

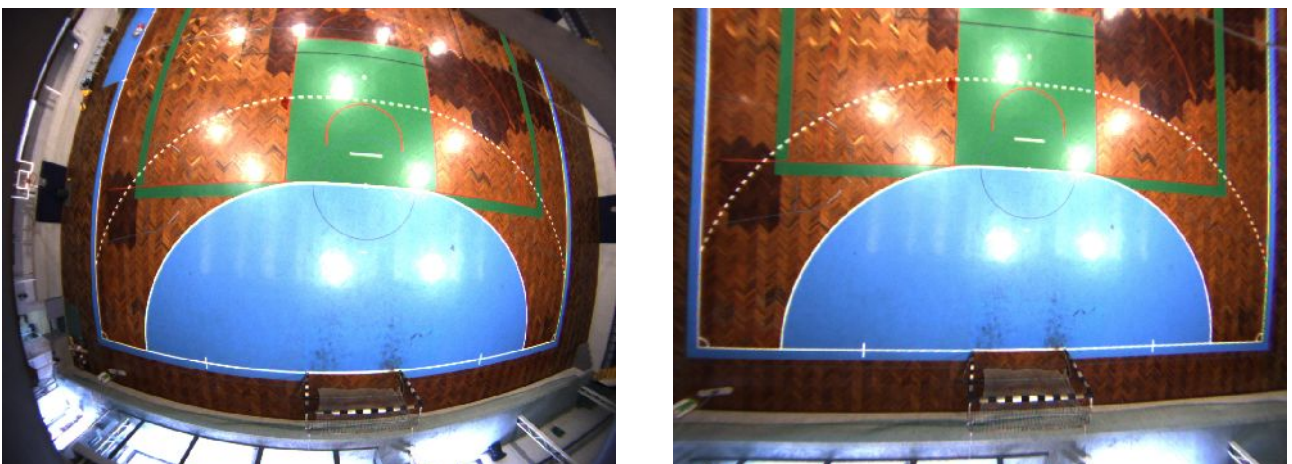


Figura 6.5 – Correção de imagem com parametros calculados por padrão distorcido (Imagem Original – Esquerda , Imagem Resultante – Direita)

Ao contrário do caso anterior é possível observar-se o sucesso do uso dos parametros calculados através dum padrão distorcido. A correção da imagem foi evidente havendo apesar de tudo uma pequena

imperfeição nos resultados.

6.2– Otimização dos Parâmetros Intrínsecos

Concluindo-se através dos dados obtidos anteriormente (Capítulo 6.1.4.1) verificou-se a esperada necessidade de otimizar os parâmetros intrínsecos da câmara sendo estes o centro real da lente e a distância focal.

6.2.1– Otimização do Centro da Lente

A otimização da lente foi efectuada graças a uma aproximação circular através de mínimos quadrados. Foi escolhido este método atendendo ao grande número de pontos situados ao longo das linhas que contornam o campo sendo a ideia principal o ajustamento de um círculo consoante a estrutura definida por um conjunto de pontos.

Como estes métodos podem ter tempos de execução muito elevados, foi restringindo o número de pontos considerados .

Devido à existência de várias hipóteses de escolha relativamente ao conjunto de pontos que se irá usar, foram então seleccionados pontos que definem as linhas exteriores do padrão axadrezado usado anteriormente. Esta escolha deveu-se ao facto do número de pontos escolhidos ser relativamente reduzido como também por estes se localizarem em linhas envolventes do campo.

Utilizando os parâmetros intrínsecos c_x e c_y calculados pela função `cvCalibrateCamera2` obteve-se uma circunferência inicial com um centro localizado na posição (c_x, c_y) e por um raio calculado pela distância entre o centro (c_x, c_y) e um dos cantos do campo de jogo. A equação geral dessa circunferência será então:

$$r^2 = \sqrt{(c_x - x_c)^2 + (c_y - y_c)^2}$$

aonde:

(c_x, c_y) – Centro do Círculo

(x, y) – Coordenada de um Ponto

(x_c, y_c) – Coordenada de um dos cantos do campo de jogo

r – Raio da Circunferência

Sabendo-se assim um círculo inicial o objectivo será ajustar iterativamente a equação de esta circunferência até se obter uma circunferência final que se ajuste a todos os pontos analisados.

6.2.1.1. - Algoritmo Desenvolvido

Foi então desenvolvido o seguinte algoritmo:

1. *Calcular os raios entre cada um dos pontos e o centro da circunferência (c_x, c_y)*
2. *Calcular o erro do valor quadrático médio - RMS_1*
3. *Alterar ligeiramente (c_x, c_y, r) transformado num novo (c_x, c_y, r)*
4. *Repetir passo I mas considerando o novo (c_x, c_y, r)*
5. *Repetir passo II – RMS_2*
6. *Comparar RMS_1 com RMS_2 se essa variação $< 10^{-3}$ então pára-se caso contrário salta-se para o passo 3*

6.2.1.2-Dados Obtidos



Figura 6.6 – Aproximação dum centro de lente com bons parametros intrinsecos

Observa-se uma pequena aproximação a um novo centro de lente, sendo este definido na figura anterior como um ponto “X” a azul escuro eo seu respectivo circulo também a azul escuro. Essa aproximação também é visível graças aos circulos a branco. A pequena aproximação deveu-se à qualidade do centro de imagem (c_x, c_y) calculado anteriormente.

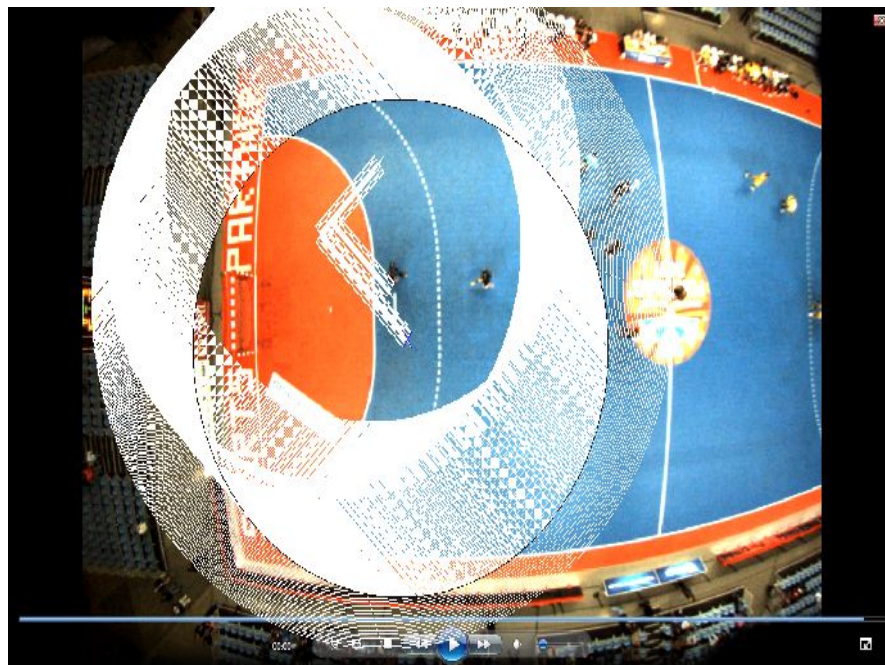


Figura 6.7 – Aproximação dum centro de lente com maus parametros intrinsecos

Neste caso é possível observar-se que o centro de imagem inicial não estava aproximado do correcto, o que resultou numa grande quantidade de iterações para se obter um centro próximo sendo os círculos brancos as respectivas iterações e o círculo a azul escuro o círculo final e o respectivo centro circular o ponto calculado.

6.3– Avaliação da Qualidade da imagem

Com o objectivo de determinar qual a distorção de uma imagem é necessário realizar uma medição quantitativa. Esta medição permite determinar o erro residual depois de ser efectuada uma correcção da distorção da lente e aperfeiçoar os parâmetros de correcção até ao momento que a distorção é mínima.

Neste projecto foi considerado o método de Brown que foi proposto em 1971 e desde então tem sido bastante utilizado. Este método consiste num ajustamento de rectas, através de mínimos quadrados, entre uma quantidade de pontos pertencentes, supostamente, a uma linha recta da imagem analisada. O erro será calculado considerando a soma das distâncias entre esses pontos e a recta determinada pelos mínimos quadrados. Adaptando-se este método para este projecto, foram considerados os pontos exteriores do padrão e as rectas formadas pela união dos extremos do padrão. Esta escolha deveu-se ao facto de os pontos do extremo do padrão serem os mais distanciados entre si, formando assim rectas muito próximas das rectas reais.

Considerando a forma familiar $y=mx+b$ determina-se a distância perpendicular entre as rectas e os pontos a analisar considerando a seguinte equação:

$$dist^2 = (\|\bar{p}_p - \bar{p}_l\|_2)^2 - ((\bar{p}_p - \bar{p}_l) \circ \bar{d}_n)^2$$

aonde:

dist – distância, em pixels, entre a recta e o ponto em questão

\bar{d}_n – direcção unitária do vector da linha

\bar{p}_p – ponto analisado

\bar{p}_l

– ponto da linha

l

Depois de determinado todas as distâncias é determinado o valor eficaz ou RMS através da equação:

$$dist_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dist^2}$$

onde

N – numero de pontos analisados

dist – erro da distancia em pixels

RMS

Apesar de saber a teoria envolvente não foram obtidos resultados suficientemente correctos, sendo irrelevantes para serem apresentados neste documento.

7. Conclusões e Trabalho Futuro

Sendo o objectivo principal deste projecto o cálculo dos parâmetros dum sistema de visão, foi feita uma primeira revisão da literatura para enquadrar o tema. Foram analisadas diferentes técnicas que permitissem o desenvolvimento de uma aplicação autónoma e que fossem capazes de determinar, consoante as restrições colocadas, uma boa optimização dos parâmetros pretendidos. Visto que a maior parte dessas técnicas necessitavam, de algum modo, intervenção humana para a sua resolução, foi necessário relacionar diferentes métodos para se obter resultados interessantes. Concluiu-se, assim, que o primeiro passo a ser efectuado era localizar no espaço o campo de jogo, nomeadamente as linhas exteriores. Sendo considerada também como um dos objectivos principais, a detecção de pontos surgia no projecto como um ponto fulcral para o desenvolvimento deste projecto visto que tanto poderia ajudar na localização das linhas do contorno do campo como também permitiriam optimizar a calibração da câmara.

Não havendo, que se tenha tido conhecimento, nenhuma técnica específica para a determinação destes pontos foram então sugeridos diferentes métodos para a sua determinação sendo uns mais viáveis do que outros. Os algoritmos desenvolvidos para atingir este objectivo foram conclusivos e decisivos na localização do campo, apesar de em alguns casos nomeadamente em situações nas quais se obtém uma perspectiva mais oblíqua do campo observado (como por exemplo a perspectiva de um adepto) os resultados não fossem muito claros. Estas dificuldades foram resultantes tanto duma dependência da detecção da linha de seis metros por parte da transformada de Hough, devido principalmente à difícil escolha dos seus parâmetros, como também da dependência de aquisição de imagens onde sejam observáveis por completo as linhas do campo de jogo. Apesar destas dependências foi sugerido assim uma abordagem para a detecção de pontos característicos de um campo desportivo sendo facilmente ajustável a variados tipos de desportos.

Outro passo importante para o projecto foi a detecção das linhas exteriores do campo. Havendo para este caso diferentes tipos de abordagens foi implementado um método, com base numa leitura do estado de arte relativa à calibração de câmaras, que permitisse determinar através dos pontos anteriormente determinados uma aproximação das linhas pretendidas. Contudo mais uma vez, devido principalmente à detecção de linhas através da transformada de Hough, foi difícil localizar com exactidão as rectas laterais mesmo quando estas se apresentando numa imagem não distorcida. Para a obtenção dessa mesma imagem o que se concluiu foi que apesar desta não se apresentar como uma imagem ideal do mundo observado apresenta uma relação muito aproximada com o pretendido mesmo usando parâmetros não exactos. Um outro problema determinante para a não obtenção de resultados não ideais foi a escolha do threshold no momento da correcção temporária da imagem influenciando assim todos os processos relativos a este passo. Mesmo assim os resultados foram bastante positivos visto que se adquiriu pontos que definissem com exactidão a localização das linhas inicialmente pretendidas.

Finalmente, quanto à fase de determinar os parâmetros optimizados da câmara foram pensadas e testadas técnicas possivelmente úteis para o caso de imagens com perspectivas *birds eye*. Havendo resultados finais bastante próximos dos pretendidos, tanto os coeficientes radiais e tangenciais como também dos parâmetros intrínsecos da câmara.

Ao longo deste projecto foram então feitas diferentes abordagens com resultados, a maioria delas, suficientemente interessantes para servirem posteriormente como ferramenta de estudo e de investigação.

Referências

- [1] Gary Bradski e Adrian Kaebler – Learning OpenCV
- [2] D.C. Brown, “Decentering distortion of lenses,” *Photogrammetric Engineering*, vol.32, no 7, pp. 444-462, 1966.
- [3] Z. Zhang, “Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations,” in *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, 20-27 Sept, 1999*, vol. 1, pp. 666-673.
- [4] A. Gardel, J.L. Lazaro, J.M. Lavest - Camera Auto-calibration with Virtual Patterns
- [5] Frederic Devernay, Olivier Faugeras - Straight Lines Have to Be Straight Automatic Calibration and Removal of Distortion from Scenes of Structured Environments
- [6] Z. Zhang, “A flexible new technique for camera calibration,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000.
- [7] D.C. Brown, “Close Range Camera Calibration,” *Photogrammetric Engineering*, vol. 37, no. 8, pp. 855-866, 1971.
- [8] Francis A. Jenkins and Harvey E. White, Fundamentals of optics
- [9] R. Cucchiara, C. Grana, A. Prati, and R. Vezzani, “A Hough transform-based method for radial lens distortion correction,” in *Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing, 17–19 Sept, 2003*, vol.1, pp. 182-187.
- [10] J. Perš, and S. Kovačič, "Nonparametric, Model-Based Radial Lens Distortion Correction Using Tilted Camera Assumption," in *Proceedings of the Computer Vision Winter Workshop, Feb, 2002*, vol. 1, pp. 286-295.
- [11] The New Camera Calibration System at the U.S.Geological Survey – Donald L. Light
- [12] J. Shi and C. Tomasi, "Good features to track," 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 1994.
- [13] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference (pp. 147–151), 1988.
- [14] H. Freeman, "On the classification of line-drawing data," Models for the Perception of Speech and Visual Form (pp. 408–412), 1967.
- [15] Armando Jorge Miranda de Sousa, Maria Luísa Estriga, Luis Paulo Reis, Martin Lames - Survey on Team Tracking Techniques Applied to Sports,
- [16] Jason P. de Villiers^{a,b}, F. Wilhelm Leuschner, Ronelle Geldenhuys - Centi-pixel accurate real-time inverse distortion correction
- [17] Janez Pers and Stanislav Kovaci - Tracking People in Sport: Making Use of Partially Controlled Environment
- [18] R. Y. Tsai, “A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses,” *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 3, no. 4, pp. 323–344, 1987.
- [19] The Development of Camera Calibration Methods and Models por T. A. Clark e J. G. Fryer
- [20] Armando Jorge Miranda de Sousa - Arquiteturas de Sistemas Robóticos e Localização em Tempo Real Através de Visão
- [21] Michel Dome, Marc Richetin, Jean-Thierry Lapreste and Gerard Rives - Determination of the Attitude

of 3-D Objects from a Single Perspective View

[22] Conteudos Academicos da disciplina de Sistemas Baseados em Visão - FEUP

[23] <www.ihf.com>

[24] Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. – Digital Image Processing, Prentice Hall, 1993

[25].Xiaoqiao Meng, Hua Li and Zhanyi Hu - A New Easy Camera Calibration Technique Based on Circular Points Xiaoqiao Meng, Hua Li and Zhanyi Hu)

[26] Guenther, Robert (1990).*Modern Optics*. Cambridge: John Wiley & Sons Inc.. p.130

[27] T.A Clarke and J.G.Fryer - The Development of camera calibration methods and models

[28] A. Alahi, Y. Boursier, L. Jacques, and P. Vanderghenst, “Sport Players Detection and Tracking with a Mixed Network of Planar and Omnidirectional Cameras”, in the Third ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, Como, 2009.

[29] D. Delannay, N. Danhier, and C. D. Vleeschouwer, “Detection and Recognition of Sports(wo)men from Multiple Views”, in the Third ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, Como, 2009.