

PENGLIHATAN STEREO DALAM PENGUKURAN JARAK

Oleh

Muhammad Hafiz Bin Kassim

Disertasi ini dikemukakan kepada
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN MEKATRONIK)

Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia

Mei 2006

ABSTRAK

Manusia melalui sistem penglihatan yang kompleks dapat menghasilkan beberapa maklumat berkaitan hubungan kedalaman dan kedudukan antara elemen-elemen yang berbeza pada sesuatu imej. Ini dilakukan dengan menggabungkan imej pada mata kiri dan kanan dan seterusnya menghasilkan imej-imej tiga dimensi secara automatik. Selain itu, manusia juga dapat mengetahui beberapa maklumat penting berkaitan sesuatu imej seperti perubahan saiz elemen yang serupa, garisan-garisan yang hilang, bayang-bayang dan perubahan keamatan tekstur. Operasi penglihatan manusia ini seterusnya telah menjadi asas dalam penghasilan beberapa teknik pengukuran jarak seperti sistem penglihatan binokular atau sistem penglihatan stereo. Jika dua imej dari suatu objek yang sama dihasilkan (imej stereo), perhubungan jarak atau kedalaman di antara titik yang berbeza pada permukaan imej dapat diketahui dengan membandingkan kedua-dua imej tersebut. Pengukuran jarak menggunakan imej stereo ini memerlukan dua operasi yang berasingan. Pertama, sepasang titik pada kedua-dua imej perlu ditentukan merujuk kepada titik yang serupa pada objek yang hendak diukur. Ini akan memberikan nilai ketidaksamaan atau *disparity* diantara pasangan titik tersebut. Kemudian, jarak atau kedudukan titik tersebut pada objek ditentukan melalui kaedah segi tiga. Maka dengan operasi tersebut, satu algoritma pengukuran bagi imej stereo dapat dihasilkan dan seterusnya memberikan nilai ukuran yang dikehendaki. Hasilnya, sistem pengukuran ini dapat mengukur dengan baik jarak diantara 0.4m hingga 1.2m dengan menggunakan kaedah penglihatan stereo.

ABSTRACT

Human with complex vision system can extract information about depth and positional relationship between different elements of an image. It can be done automatically by combining the image from left eye and right eye, then forming a three dimensional images. Moreover, human also can extract useful information from images such as the changing size of familiar elements, vanishing lines, shadows and the changing intensity of textures. The operation of human vision became the basic technique on designing a number of range detection techniques such as binocular vision system or stereo vision system. If two images from the same object are formed (stereo images), the relative range or depths of the different points from the image plane can be extracted by comparing the two images. Range detection using stereo images requires two operations. Firstly, the point pairs in the two images are determined which is correspond to the same points at the object that been measured. It will give the disparity value of the point pair. Then, the range or location of the point on the object are determined using triangular techniques. So, using that operations, the algorithm for measuring of stereo images can be made and give the measured value needed. Finally, this measurement system can measured in good condition for the distance range from 0.4m to 1.2m using the stereo vision system.

PENGHARGAAN

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penasihat saya, Dr. Anwar Hasni Abu Hassan kerana telah banyak memberikan tunjuk ajar, bimbingan dan bantuan kepada saya sepanjang kajian ini dilakukan. Walaupun pelbagai masalah telah dihadapi, beliau tetap memberikan pandangan dan komen yang berguna dan membina kepada saya. Beliau juga telah banyak berkongsi pengalaman dengan saya. Ini menambahkan lagi ilmu pengetahuan dan pemahaman saya terhadap kajian yang dilakukan. Terima kasih juga kepada pihak Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik Dan Elektronik dan USM kerana telah menyediakan kemudahan makmal kepada saya dalam menyempurnakan kajian ini.

Selain itu, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan rakan-rakan yang telah banyak membantu dan memberi galakan kepada saya. Tanpa pertolongan mereka, kajian ini tidak dapat dijalankan dengan sempurna. Diharap kajian ini dapat memberikan pengetahuan yang berguna kepada semua tentang pengukuran melalui penglihatan stereo.

Sekian, terima kasih.

Muhammad Hafiz Bin Kassim

Mei 2006

KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
PENGHARGAAN	iv
JADUAL ISI KANDUNGAN	v
SENARAI GAMBARAJAH DAN JADUAL	vii
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Penglihatan Manusia Dan Penglihatan Stereo.....	1
1.2 Objektif Kajian.....	3
1.3 Panduan Laporan.....	4
BAB 2 KAJIAN ILMIAH	5
2.1 Pengenalan.....	5
2.2 Pemprosesan Imej Digit.....	5
2.3 Pengukuran Jarak Dengan Sistem Penglihatan.....	8
2.3.1 Analisis Pemandangan.....	8
2.3.2 Imej Stereo.....	9
2.3.3 Pencahayaan Khusus.....	11
2.4 Pemprosesan Imej Masa Nyata.....	12
2.5 Perisian.....	12
BAB 3 PERLAKSANAAN PENGLIHATAN STEREO UNTUK MENGUKURAN JARAK	16
3.1 Pengenalan.....	16
3.2 Rekabentuk Sistem.....	16
3.2.1 Geometri Kamera Stereo.....	17
3.2.2 Permukaan Epipolar.....	19

3.3 Perolehan Imej.....	21
3.3.1 Susunatur Kamera.....	23
3.3.2 Langkah-langkah Perolehan Imej Melalui MATLAB.....	24
3.4 Pemprosesan Imej.....	27
3.5 Antara muka Pengguna.....	30
BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	35
4.1 Data Yang Digunakan.....	35
4.2 Pengiraan 3D.....	36
4.2.1 Transformasi imej kamera.....	36
4.2.2 Pengiraan Dimensi X, Y Dan Z.....	38
4.3 Keputusan Pengiraan Jarak.....	39
4.4 Keputusan Pengecaman Objek.....	44
4.5 Analisis Data Menggunakan Teknik Kualiti.....	47
4.5.1 Rekabentuk Faktor Dua-Faktor (Two-Factor Factorial Design).....	47
4.5.2 Carta Kawalan.....	53
4.6 Perbincangan.....	59
BAB 5 KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Cadangan.....	64
RUJUKAN	
LAMPIRAN A : ATURCARA PEMROSESAN IMEJ	
LAMPIRAN B : ATURCARA STEREOVISIONGUI	

SENARAI GAMBARAJAH DAN JADUAL

<u>Gambarajah</u>	<u>Muka Surat</u>
Rajah 1.1 : Ilusi optik	2
Rajah 2.1 : Perwakilan imej dalam bentuk piksel	5
Rajah 2.2 : Pemprosesan imej digit	7
Rajah 2.3 : Masalah dalam imej stereo	10
Rajah 2.4 : Aplikasi jalur cahaya dalam pengukuran kedalaman.	11
Rajah 2.5 : MATLAB 7.0	14
Rajah 2.6 : <i>Toolboxes</i> dalam perisian MATLAB 7.0	14
Rajah 2.7 : <i>GUIDE</i>	15
Rajah 3.1 : Geometri kamera stereo yang ringkas	17
Rajah 3.2 : Permukaan epipolar dan garisan epipolar.	20
Rajah 3.3 : Kedudukan kamera pada <i>disparity</i> sifar.	20
Rajah 3.4 : Kamera CCD dari jenis Teli	21
Rajah 3.5 : Perhubungan dalam <i>Image Acquisition Toolbox</i> .	22
Rajah 3.6 : Susunatur kamera	23
Rajah 3.7 : Gambar yang dibaca dari kamera	27
Rajah 3.8 : Imej penduaan	28
Rajah 3.9 : Pembuangan piksel yang tidak diperlukan	28
Rajah 3.10 : Pembuangan objek di sempadan imej	29
Rajah 3.11 : Hasil akhir imej yang telah diproses	29
Rajah 3.12 : Stereo Vision Measurement GUI	30
Rajah 3.13 : Penentuan kamera	31
Rajah 3.14 : Paparan video dari kedua-dua kamera	31

Rajah 3.15 : Perolehan imej statik untuk pengukuran jarak.	32
Rajah 3.16 : Kamera tidak diaktifkan	32
Rajah 3.17 : Memasukkan parameter-parameter pengukuran	33
Rajah 3.18 : Pengukuran dilakukan dan objek yang terpilih dipaparkan	33
Rajah 3.19 : Pengukuran jarak bagi objek-objek 3D	34
Rajah 4.1 : Saiz imej paparan (a) dan imej kamera (b)	36
Rajah 4.2 : Geometri kamera stereo	38
Rajah 4.3 : Graf perhubungan jarak sebenar dengan jarak yang diukur	40
Rajah 4.4 : Graf perbandingan jarak sebenar dengan jarak yang diukur	41
Rajah 4.5 : Graf ukuran disparity bagi setiap nilai <i>baseline</i>	42
Rajah 4.6: Analisis objek bulat	44
Rajah 4.7: Analisis objek segitiga	45
Rajah 4.8: Analisis objek segiempat	46
Rajah 4.9 : Graf interaksi plot antara faktor A dan faktor B	51
Rajah 4.10 : Graf residual plot	52
Rajah 4.11 : Carta X-MR bagi jarak yang diukur pada 0.4 m	54
Rajah 4.12 : Carta X-MR bagi jarak yang diukur pada 2.0 m	55
Rajah 4.13 : Carta X-MR bagi jarak yang diukur pada 0.4 m	57
Rajah 4.12 : Carta X-MR bagi jarak yang diukur pada 2.0 m	58

<u>Jadual</u>	<u>Muka Surat</u>
Jadual 4.1 : Pengukuran jarak melalui sistem penglihatan stereo	39
Jadual 4.2 : Perbandingan antara nilai sebenar dan nilai yang diukur	40
Jadual 4.3 : Nilai <i>disparity</i> bagi setiap ukuran yang diambil	41
Jadual 4.4 : Kepekaan sistem pengukuran	42
Jadual 4.5 : Masa operasi sistem penglihatan stereo	43
Jadual 4.6 : Faktor A dan Faktor B	47
Jadual 4.7 : Data-data bagi Rekabentuk Faktor Dua-faktor	48
Jadual 4.8 : Purata Jarak dan Varians	48
Jadual 4.9 : Analisis Minitab14	49
Jadual 4.10 : Pengukuran pada jarak 0.4m	54
Jadual 4.11 : Pengukuran pada jarak 2.0m	55
Jadual 4.12 : Pengukuran pada jarak 0.4m	56
Jadual 4.13 : Pengukuran pada jarak 2.0m	57

BAB 1 PENGENALAN

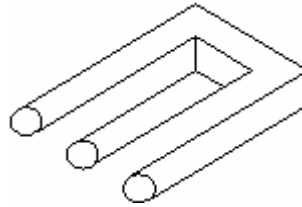
1.1 Penglihatan Manusia Dan Penglihatan Stereo

Manusia dianugerahkan dengan lima deria yang berbeza fungsinya. Mata merupakan salah satu deria yang membolehkan manusia melihat. Penglihatan manusia memberikan 80% maklumat daripada persekitaran kita. Ini kerana hampir tiga per empat sel-sel deria di dalam badan kita terletak di belakang mata, iaitu di retina. Kebanyakan keputusan yang di buat setiap hari bergantung kepada apa yang kita lihat dan juga bagaimana kita mentafsir maklumat-maklumat tersebut, contohnya seperti ketika memandu kereta yang kebanyakan maklumat diterima daripada penglihatan kita.

Tanggapan manusia terhadap dunia tiga dimensi (3D) adalah berkaitan dengan fenomena berikut:

- Sistem optikal pada mata membolehkan kita memfokuskan pada titik yang kita lihat dan memberikan beberapa maklumat berkaitan jarak. Tetapi kaedah ini tidak selalunya digunakan oleh manusia, ia digunakan dalam fotografi.
- Fenomena kedua pula ialah, manusia memiliki dua mata. Ini membolehkan kita melihat dua imej berbeza dari dua titik penglihatan. Dengan menganalisa perbezaan di antara kedua-dua imej ini, kita dapat mengurangkan beberapa ciri-ciri dunia 3D di sekeliling kita.
- Fenomena ketiga ialah hubungan yang kompleks di antara sistem penglihatan dengan fikiran. Dengan hanya satu mata, kita dapat melihat semua objek dalam bentuk 3D kerana fikiran kita mempunyai pengetahuan bagaimana bentuk objek tersebut. Melalui Rajah 1.1, fenomena ketiga ini dapat diterangkan. Berdasarkan gambarajah tersebut, kita mencuba untuk melihat objek 3D, tetapi ia hanyalah bentuk 2D. Ini bermakna, dengan satu imej, fikiran kita menggunakan pengetahuan

yang sedia ada untuk menghasilkan dimensi ketiga. Ini merupakan fasa pengenalan bentuk dan diikuti dengan fasa pembinaan semula.



Rajah 1.1 : Ilusi optik

Walaupun semua objek di sekitar kita adalah dalam bentuk tiga dimensi (3D), tetapi imej yang terhasil mungkin dalam bentuk dua dimensi (2D) ataupun tiga dimensi (3D). Imej 2D digunakan apabila sifat kedalaman pemandangan ataupun sifat yang lain tidak perlu diketahui.

Sebagai contoh, dalam penggunaan sistem penglihatan untuk menguji litar bersepadu, maklumat mengenai hubungan kedalaman antara komponen-komponen tidak diperlukan kerana kesemua komponen terletak pada permukaan rata yang tetap. Maka, analisis dan pengujian imej 2D lebih sesuai. Pemrosesan imej 3D pula diperlukan dalam bidang operasi yang memerlukan mengesan pergerakan, navigasi, penderiaan jauh dan pengukuran kedalaman.

Penglihatan stereo, seperti manusia, membolehkan kita mendapat maklumat 3D daripada pasangan imej yang terhasil. Melalui maklumat tersebut seseorang dapat mengetahui kedudukan sesuatu objek sama ada dekat atau jauh. Tanpa pasangan imej dari penglihatan stereo tadi, kita akan menghadapi masalah dalam menentukan jarak dan kedudukan sesuatu objek.

1.2 Objektif Kajian

Objektif utama projek penglihatan stereo dalam pengukuran jarak ini ialah:

- Memahami dan mempelajari cara-cara bagi mendapatkan imej yang terbaik menggunakan alatan-alatan tertentu seperti kamera dan sistem pencahayaan, serta penggunaan perisian komputer seperti perisian National Instrument Image Acquisition dan MATLAB bagi memproses imej dan seterusnya memperbaiki kualiti imej tersebut.
- Merekabentuk satu sistem pengukuran jarak bagi suatu objek menggunakan aplikasi penglihatan stereo dan mengenal pasti parameter atau pembolehubah yang terlibat.
- Melakukan analisis kepada imej-imej stereo dengan mengenalpasti ciri-ciri dan sifat-sifat utama imej tersebut serta melakukan pengecaman objek bagi bentuk-bentuk tertentu pada imej-imej yang terhasil seperti bentuk bulatan, segiempat dan lain-lain lagi.
- Menggunakan teknik-teknik kualiti iaitu teknik carta kawalan bagi menganalisis kestabilan sistem pengukuran dan teknik rekabentuk faktor dua faktor (two-factor factorial design) untuk menganalisis ketepatan pengukuran sistem penglihatan stereo ini berdasarkan perubahan jarak dasar antara kamera dan perubahan jarak antara objek dengan kamera.

1.3 Panduan Laporan

Dalam laporan ini, membincangkan teori-teori berkenaan penglihatan stereo, teknik-teknik yang digunakan, perisian yang digunakan dan juga kaedah yang telah dilakukan untuk kajian ini. Laporan ini dibahagikan kepada 5 bab iaitu:

- Bab 1

Bab ini menceritakan pengenalan mengenai sistem penglihatan stereo, imej dua dimensi (2D), imej tiga dimensi (3D) serta objektif kajian ini.

- Bab2

Bab ini membincangkan secara ringkas teori-teori berkaitan dengan pemprosesan imej digit, pengukuran melalui sistem penglihatan, dan perisian yang digunakan

- Bab 3

Dalam bab ini, segala pelaksanaan berkaitan geometri kamera stereo, susunatur kamera, perolehan imej, pemprosesan imej dan antara muka pengguna terkandung di dalamnya.

- Bab 4

Segala keputusan berhubung dengan pengukuran jarak, data-data yang digunakan dan kecekapan sistem pengukuran telah dicatat. Penganalisaan keputusan dan perbincangan juga terkandung dalam bab ini.

- Bab 5

Dalam bab ini, kesimpulan dan cadangan pembaikan projek telah disertakan.

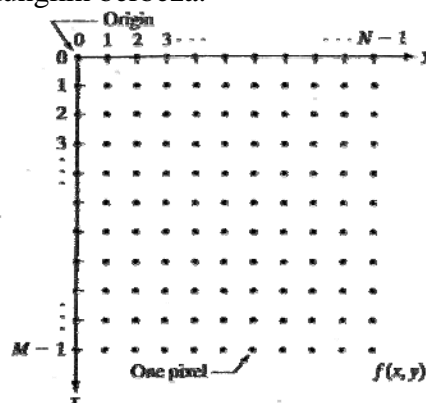
BAB 2 KAJIAN ILMIAH

2.1 Pengenalan

Kini terdapat pelbagai bidang yang melibatkan sistem penglihatan, pemprosesan imej dan pengecaman bentuk atau objek. Selain itu juga, pelbagai perkakasan dan perisian sistem penglihatan dihasilkan dalam memenuhi bidang-bidang tersebut. Pengetahuan mengenai sistem penglihatan, pemprosesan imej dan pengecaman bentuk atau objek telah berkembang dengan meningkatnya jumlah penyelidikan dan berkembangnya teknologi berkaitan isu tersebut. Teknik-teknik mengenai sistem penglihatan telah digunakan secara meluas dalam bidang industri, ekonomi dan juga dalam bidang penyelidikan. Di antaranya ialah sistem penglihatan stereo atau sistem penglihatan binokular.

2.2 Pemprosesan Imej Digit

Imej merupakan perwakilan bagi sesuatu pemandangan sebenar, sama ada dalam hitam dan putih atau berwarna, dan juga sama ada dalam bentuk bercetak atau dalam bentuk berdigit. Imej digit dibahagikan kepada beberapa bahagian-bahagian kecil yang dipanggil piksel. Saiz bagi setiap piksel tersebut adalah sama manakala keamatan cahaya bagi setiap piksel mungkin berbeza.



Rajah 2.1 : Perwakilan imej dalam bentuk piksel

Imej yang terdiri daripada paras kelabu yang berbeza pada setiap piksel dipanggil imej kelabu. Imej berwarna pula diperolehi dengan pertindihan tiga imej berona merah, hijau dan biru, dengan keamatan cahaya yang mungkin bagi setiap piksel. Imej perduaan pula terdiri daripada piksel-piksel yang cerah sepenuhnya atau gelap sepenuhnya. Ia boleh diwakili dengan bit 1 bagi piksel yang cerah sepenuhnya tau bit 0 bagi piksel yang gelap sepenuhnya. Imej perduaan dapat dihasilkan daripada imej kelabu dengan penukaran menggunakan histogram bagi imej tersebut dan menggunakan nilai potong atau nilai ambang. Histogram tersebut menunjukkan taburan perbezaan paras kelabu. Pemilihan nilai ambang yang terbaik akan menghasilkan imej yang kurang herotan dan nilai ambang ini akan mempengaruhi perubahan imej perduaan. Kelebihan imej perduaan ialah imej tersebut memerlukan ruangan memori yang sedikit dan boleh diproses atau dianalisis dengan lebih cepat berbanding imej kelabu atau imej berwarna [2].

Dalam pemprosesan imej digit, ia memerlukan beberapa langkah untuk penyediaan imej dan seterusnya menganalisis imej tersebut. Langkah-langkah yang akan dilakukan perlu ditentukan mengikut kehendak dan kesesuaian sesuatu projek. Projek yang memerlukan input dan output dalam bentuk imej sepatutnya menggunakan kaedah yang berbeza daripada projek yang memerlukan input dalam bentuk imej tetapi outputnya adalah pecahan-pecahan sifat dari imej tersebut [4].

Langkah-langkah asas dalam pemprosesan imej digit ialah seperti berikut:

I. Perolehan imej

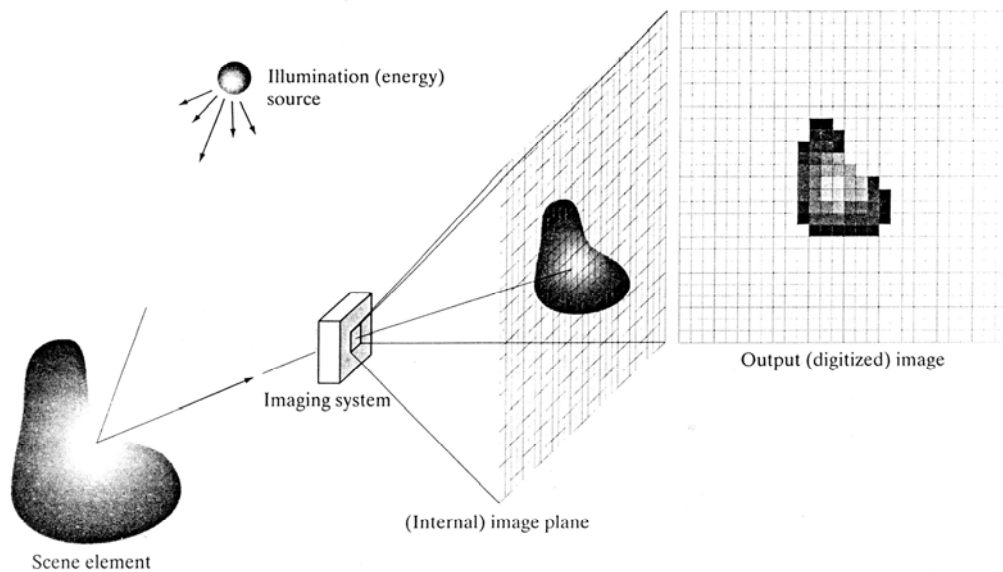
Ini merupakan langkah pertama dalam pemprosesan imej digit. Perolehan imej dapat dilakukan melalui penderia-penderia yang terdapat dalam perkakasan tertentu seperti kamera dan pengimbas.

II. Pemrosesan imej

Langkah ini terdiri daripada pelbagai teknik untuk memperbaiki, memudahkan, meningkatkan atau mengubah sesuatu imej. Sesuatu imej dapat diperbaiki dengan mengurangkan hingar pada imej dan juga dapat menjimatkan ruang ingatan komputer dengan memudahkan imej tersebut.

III. Penganalisaan imej

Langkah ini terdiri daripada pelbagai proses yang akan digunakan pada imej yang telah melalui pemrosesan imej bagi menganalisis dan mengeluarkan maklumat mengenai sifat-sifat tertentu pada imej tersebut.



Rajah 2.2 : Pemrosesan imej digit

2.3 Pengukuran Jarak Dengan Sistem Penglihatan

Maklumat kedalaman sesuatu objek atau pemandangan dapat diperolehi daripada beberapa teknik asas. Teknik pertama ialah menggunakan pengesan jarak beserta dengan teknik sistem penglihatan dan pemrosesan imej. Melalui gabungan ini, suatu pemandangan dianalisis berhubung dengan maklumat yang diperolehi daripada pengesan jarak tentang perbezaan jarak antara beberapa bahagian persekitaran, atau kedudukan bagi sesuatu objek, atau bahagian–bahagian objek pada persekitaran tersebut.

Teknik kedua ialah penggunaan penglihatan stereo atau penglihatan binokular. Dalam teknik ini, seperti manusia dan haiwan, dua kamera memandang ke suatu pemandangan serentak. Kedudukan kedua-dua kamera ini adalah sedikit berbeza jika dirujuk pada titik tertentu pada pemandangan dan ini akan menghasilkan imej yang sedikit berbeza. Dengan menganalisis dan mengukur perbezaan diantara kedua-dua imej, maklumat kedalaman boleh diperolehi [2]. Selain itu, pengukuran jarak dan analisis kedalaman dapat dilaksanakan menggunakan analisis pemandangan, imej stereo atau pencahayaan khusus.

2.3.1 Analisis Pemandangan

Analisis pemandangan merujuk kepada analisis keseluruhan pemandangan imej yang terhasil daripada kamera atau perkakasan yang lain. Dalam kata yang lain, imej tersebut merupakan replika kepada pemandangan sebenar yang dihadkan oleh kebezajelasan perkakasan tersebut. Melalui cara ini, banyak langkah pemrosesan imej diperlukan untuk mengeluarkan maklumat daripada imej dan ini membolehkan lebih banyak maklumat diperolehi. Misalannya, untuk mengenalpasti sesuatu objek dalam

suatu pemandangan, imej tersebut perlu disaring dan ditingkatkan, serta disegmenkan melalui pengesan tepian. Kemudian bahagian tersebut diasingkan melalui pembesaran kawasan dan dikenalpasti melalui pecahan-pecahan sifatnya dan dibandingkan dengan maklumat pada pencontoh atau jadual [2].

2.3.2 Imej Stereo

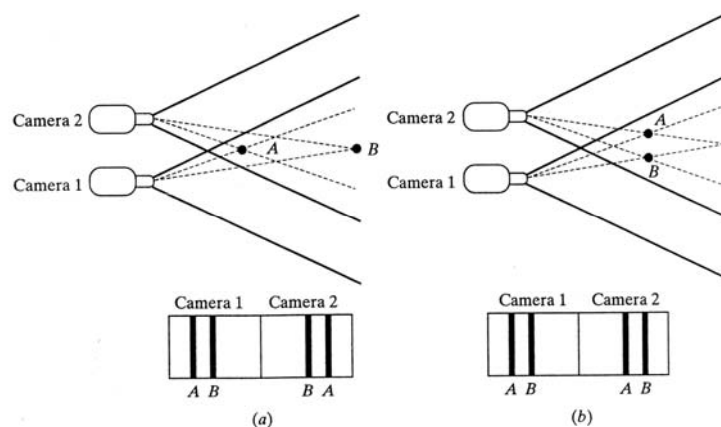
Imej merupakan unjuran pemandangan terus kepada permukaan imej menerusi kanta sempurna. Dengan itu, setiap titik atau piksel pada imej adalah serupa dengan titik-titik tertentu pada pemandangan. Walaubagaimanapun, jarak pada titik dari permukaan imej hilang dalam unjuran ini dan tidak dapat diperolehi dari satu pemandangan sahaja. Jika dua imej dari pemandangan yang sama dihasilkan, hubungan jarak pada titik berbeza dari permukaan imej dapat diperolehi dengan membandingkan kedua-dua imej tersebut. Perbezaan itu mewakili perhubungan ruang antara titik yang berbeza. Manusia juga melakukan perkara yang sama secara automatik dengan menggabungkan kedua-dua imej dan menghasilkan imej tiga matra.

Pengukuran kedalaman menggunakan imej stereo memerlukan dua operasi:

- I. Penentuan titik pada kedua-dua imej yang merujuk kepada titik yang sepadan pada pemandangan. Ini dipanggil kesamaan atau ketidaksamaan pasangan titik. Operasi ini agak sukar dilakukan, memandangkan beberapa titik pada imej tidak muncul pada imej yang lain, atau kerana perbezaan saiz dan perhubungan ruang diantara kedua-dua imej disebabkan oleh herotan perspektif.
- II. Penentuan kedalaman atau lokasi titik pada objek atau pada pemandangan melalui ukuran kawasan menggunakan rangkaian segitiga atau teknik-teknik yang lain.

Umumnya, jika dua kamera ditentukur secara tepat, ukuran kawasan menggunakan rangkaian segitiga adalah mudah selagi titik-titik sepadan dijumpai sepenuhnya pada kedua-dua imej.

Titik-titik sepadan boleh ditentukan dengan memadankan ciri-ciri tertentu, seperti sudut atau bahagian kecil dari kedua-dua imej. Tetapi masalah pemadanan titik akan wujud bergantung kepada lokasi titik tersebut. Dalam kes ini, merujuk kepada Rajah 2.3, kamera akan melihat tanda-tanda pada rajah (a) dan (b). Walaupun lokasi tanda tersebut berbeza, kamera akan melihatnya serupa. Maka, kedua-dua tanda itu kemungkinan akan disalah tempatkan.

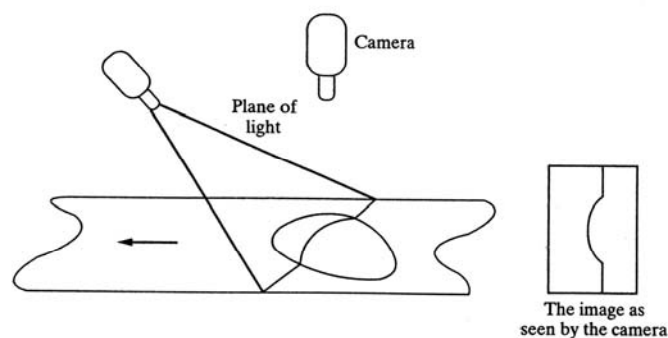


Rajah 2.3 : Masalah dalam imej stereo

Ketepatan pengukuran kedalaman atau jarak dalam imej stereo bergantung kepada sudut di antara kedua-dua imej dan ketidaksamaan di antara kedua-duanya. Bagaimanapun, ketidaksamaan yang besar akan membolehkan pencarian titik sepadan dalam kawasan pemandangan yang lebih luas. Bagi memperbaiki ketepatan dan mengurangkan masa kiraan, imej berganda pada pemandangan yang sama boleh digunakan [2].

2.3.3 Pencahayaan Khusus

Kemungkinan lain bagi pengukuran kedalaman atau jarak ialah menggunakan pencahayaan khusus yang dapat menghasilkan keputusan tertentu dan kemudiannya menghasilkan maklumat mengenai kedalaman. Kebanyakan teknik ini telah direka untuk aplikasi industri yang membolehkan pencahayaan khusus dilakukan dan persekitaran dapat dikawal. Teori dibalik teknik ini ialah jika jalur cahaya diunjurkan pada permukaan rata, ia akan menghasilkan garisan lurus merujuk kepada lokasi dan orientasi permukaan dan sumber cahaya. Bagaimanapun, jika permukaan tidak rata dan pemerhati melihat pada jalur cahaya di permukaan tersebut, satu lengkungan atau garisan pecah dapat diperhatikan seperti dalam Rajah 2.4 [2].



Rajah 2.4 : Aplikasi jalur cahaya dalam pengukuran kedalaman.

Dengan menganalisis pantulan cahaya tersebut, maklumat rupa bentuk, kedudukan dan orientasi sesuatu objek dapat diperolehi. Kekurangan menggunakan kaedah ini ialah hanya maklumat pada titik-titik tertentu sahaja diperolehi. Maka, bagi mendapatkan maklumat bagi keseluruhan imej, pengimbasan keseluruhan objek adalah perlu.

2.4 Pemrosesan Imej Masa Nyata

Dalam kebanyakan teknik yang telah dilihat, imej tersebut akan didigit dan disimpan sebelum diproses. Dalam keadaan yang lain, walaupun imej tersebut tidak disimpan, pemrosesan lazim memerlukan masa pengiraan yang lama sebelum ia selesai. Ini bermakna, terdapat kekeliruan antara masa imej diperolehi dan masa keputusan dihasilkan. Ini mungkin diterima jika keputusan tersebut tidak mempengaruhi proses. Walaubagaimanapun, dalam keadaan yang lain, adanya keperluan proses masa nyata seperti keputusan diperolehi dalam masa nyata atau dalam masa yang singkat. Terdapat dua pendekatan yang boleh ditimbang untuk proses masa nyata. Pertama ialah rekabentuk memerlukan perkakasan seperti pemrosesan adalah sepantas yang mungkin dalam masa nyata. Selain itu, kecekapan bagi perkakasan dan perisian boleh dicuba tingkatkan dan ini mengurangkan masa yang diperlukan dalam pemrosesan dan pengiraan menghampiri masa nyata. Dalam kebanyakan keadaan, walaupun pemrosesan tidak berlaku dalam masa nyata, dibandingkan dengan perubahan kelajuan dalam sistem dan masa keputusan, masa pemrosesan tersebut adalah cukup pantas untuk dianggap sebagai masa nyata [2].

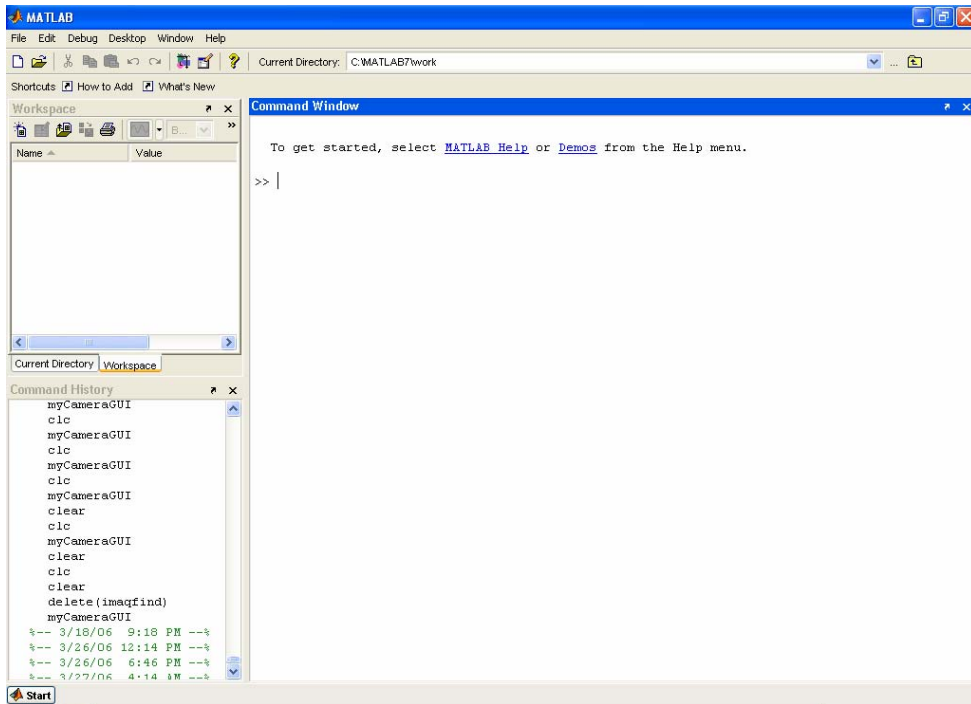
2.5 Perisian

Dalam penghasilan algoritma bagi pemrosesan imej digit, perisian MATLAB telah digunakan memandangkan ia memberi kelebihan dan kemudahan dalam perolehan imej, pemrosesan imej dan penganalisan imej. MATLAB merupakan bahasa prestasi tinggi bagi pengiraan teknikal. Ia menggabungkan pengiraan, penggambaran dan pengaturcaraan dalam persekitaran yang mudah digunakan dengan menggunakan notasi matematik yang biasa digunakan.

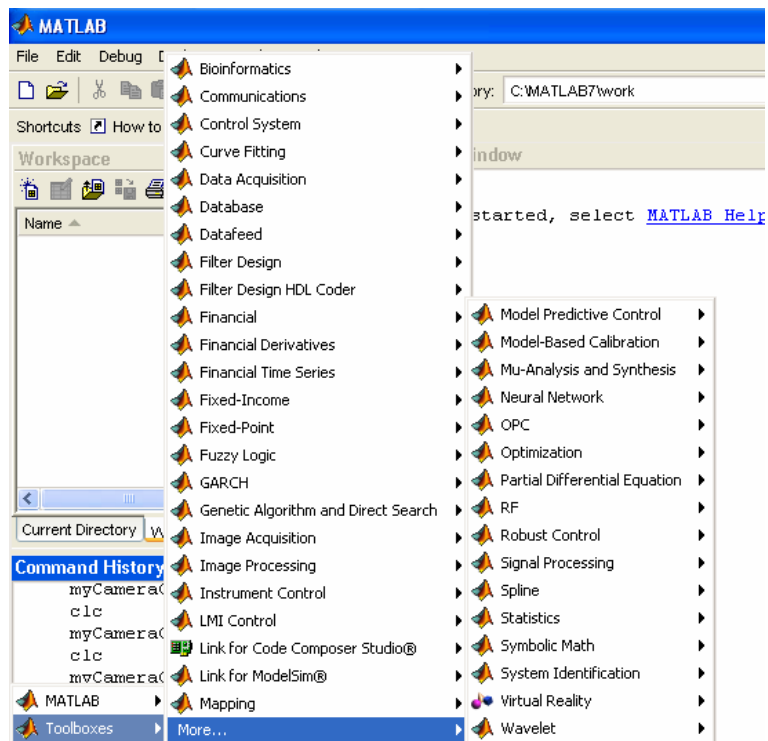
Penggunaannya termasuklah [5] :

- Matematik dan pengiraan
- Penghasilan algoritma
- Perolehan data
- Perolehan imej dan pemprosesan imej
- Pemodelan, simulasi dan prototaip
- Analisis data, penjelajahan dan penggambaran
- Gambaran saintifik dan kejuruteraan
- Pembangunan aplikasi termasuk penghasilan Antara muka Pengguna Bergrafik atau '*Graphical user Interface*' (GUI)

MATLAB dilengkapi dengan pelbagai penyelesaian masalah khusus yang dinamakan peti perkakasan atau '*toolboxes*'. Peti perkakasan perolehan imej atau '*Image Processing Toolbox*' dan peti perkakasan pemprosesan imej atau '*Image Acquisition Toolbox*' merupakan koleksi fungsi-fungsi MATLAB yang menambah kemampuan persekitaran MATLAB untuk mencari jawapan bagi masalah perolehan imej dan pemprosesan imej.

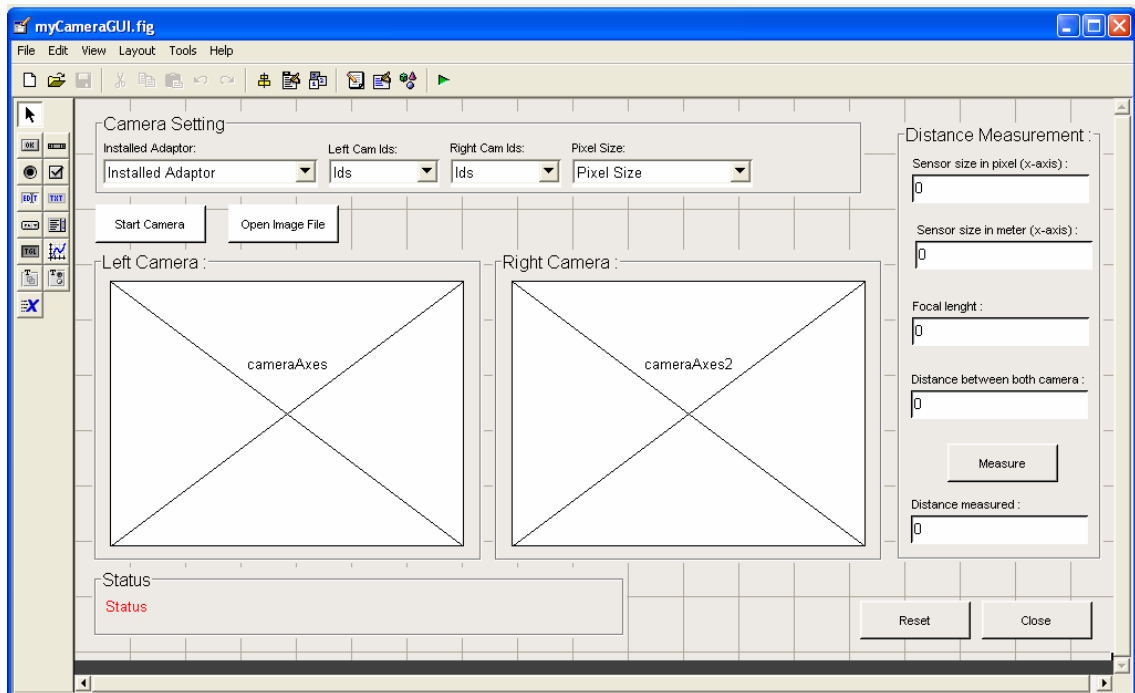


Rajah 2.5 : MATLAB 7.0



Rajah 2.6 : Toolboxes dalam perisian MATLAB 7.0

Selain itu MATLAB juga menyediakan Pembangunan aplikasi termasuk penghasilan Antara muka Pengguna Bergrafik atau '*Graphical user Interface*' (GUI) melalui Persekitaran Pembangunan Antara muka Pengguna Bergrafik atau '*Graphical User Interface Development Environment*' (GUIDE).



Rajah 2.7 : GUIDE

BAB 3 PERLAKSANAAN PENGLIHATAN STEREO UNTUK MENGUKURAN JARAK

3.1 Pengenalan

Apabila dua imej pemandangan diperolehi daripada dua kamera yang serupa dan kamera tersebut terletak secara mendatar, imej ini memiliki sekatan tertentu yang memudahkan pengecaman ke atas imej tersebut. Imej-imej ini dinamakan imej stereo. Dalam proses pengecaman, jika imej stereo ini digunakan, imej kiri biasanya digunakan sebagai imej rujukan manakala imej kanan sebagai imej penderia. Pengecaman imej stereo ini selalunya dirujuk sebagai kesamaan stereo.

Penglihatan stereo merupakan perkara yang selalu dikaji dalam penglihatan komputer. Ini disandarkan kepada dua fakta tersebut.

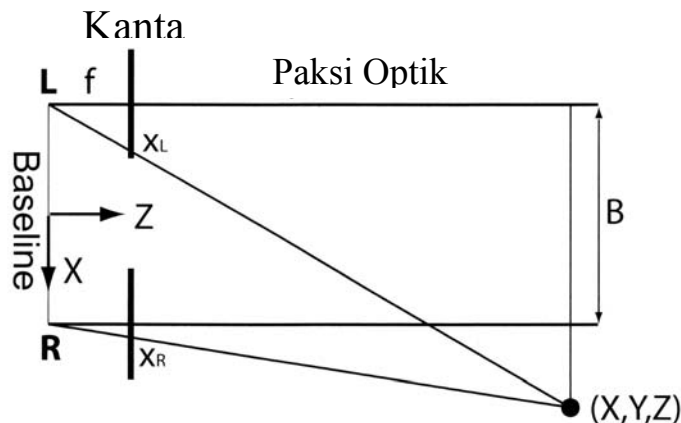
- I. Penglihatan Stereo Binokular merupakan kaedah yang serba guna untuk memulihkan geometri pemandangan tanpa menggunakan pencahayaan khusus.
- II. Masalah kesamaan masih belum lagi diselesaikan dengan sepenuhnya, walaupun algoritma untuk mencari kesamaan stereo semakin tegap.

3.2 Rekabentuk Sistem

Dalam bab ini, antara perkara yang akan dibincangkan ialah perhubungan di antara kedalaman pemandangan dan kesamaan titik dalam imej stereo, *disparity* dan permukaan epipolar.

3.2.1 Geometri Kamera Stereo

Geometri kamera stereo yang ringkas mempunyai paksi optik yang selari dan normal kepada tapak atau *baseline*, garisan yang menyambungkan titik tengah kanta bagi kedua-dua kamera. Imej bagi titik objek (X,Y,Z) terhasil pada (x_L,y) untuk imej kiri manakala pada (x_R,y) untuk imej kanan seperti dalam Rajah 3.1. Katakan koordinat titik objek apabila diukur merujuk kepada sistem koordinat kamera kiri adalah (X_L,Y,Z) dan apabila diukur merujuk kepada sistem koordinat kamera kanan adalah (X_R,Y,Z) . Sistem koordinat kamera stereo terletak pada kedudukan tengah antara sistem koordinat kamera kiri dan kanan.



Rajah 3.1 : Geometri kamera stereo yang ringkas

Perhubungan antara titik objek apabila diukur dengan merujuk kepada sistem koordinat kamera kiri pada kanta kiri dan sistem koordinat kamera stereo pada paksi X dan Z, boleh ditulis seperti berikut;

$$X_L = X + \frac{B}{2}, \quad (3.1)$$

$$Y_L = Y, \quad (3.2)$$

$$Z_L = Z, \quad (3.3)$$

B merupakan panjang *baseline* (garisan yang menyambungkan titik tengah kanta bagi kedua-dua kamera atau jarak dasar antara kedua-dua kamera). Manakala perhubungan antara titik objek apabila diukur dengan merujuk kepada sistem koordinat kamera kanan pada kanta kanan dan sistem koordinat kamera stereo pada paksi X dan Z, boleh ditulis seperti berikut;

$$X_R = X - \frac{B}{2}, \quad (3.4)$$

$$Y_R = Y, \quad (3.5)$$

$$Z_R = Z. \quad (3.6)$$

Dari segitiga yang serupa iaitu segitiga $x_L Lf$ dan segitiga XLZ pada Rajah 3.1, persamaan untuk kamera kiri;

$$\frac{x_L}{f} = \frac{X_L}{Z_L} = \frac{X + B/2}{Z}, \quad (3.7)$$

dan untuk kamera kanan, segitiga $x_R Rf$ dan segitiga XRZ dapat dihubungkan seperti berikut;

$$\frac{x_R}{f} = \frac{X_R}{Z_R} = \frac{X - B/2}{Z}. \quad (3.8)$$

Kedua-dua persamaan 3.7 dan 3.8 dapat ditulis seperti berikut

$$X + \frac{B}{2} = x_L \frac{Z}{f}, \quad (3.9)$$

$$X - \frac{B}{2} = x_R \frac{Z}{f}. \quad (3.10)$$

Pembolehubah X dikeluarkan daripada persamaan 3.9 dan 3.10, maka persamaan yang terhasil adalah seperti persamaan 3.11.

$$Z = \frac{Bf}{x_L - x_R}. \quad (3.11)$$

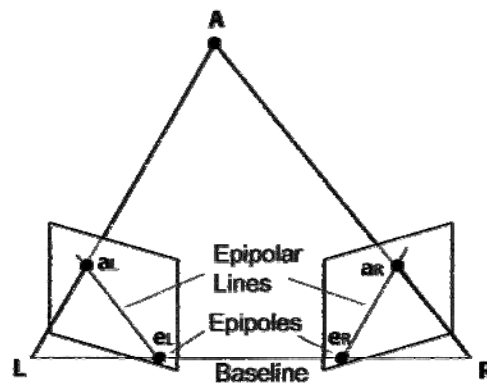
Nilai $(x_L - x_R)$ merupakan jarak mendatar di antara titik serupa pada imej, dikenali sebagai ketaksamaan atau *disparity*, dan f mewakili jarak fokus bagi kamera tersebut. Persamaan 3.11 menunjukkan bahawa kedalaman, Z adalah berkadar songsang dengan *disparity*. Semakin besar nilai *disparity*, semakin dekat titik objek dengan *baseline* dan semakin kecil nilai *disparity*, semakin jauh titik objek dengan *baseline*. Apabila nilai *disparity* kosong, titik objek berada sangat jauh dari pemerhati. Persamaan 3.11 juga menunjukkan bahawa pada kedalaman yang sama, nilai *disparity* yang besar diperolehi apabila sistem kamera mempunyai nilai jarak fokus atau *baseline* yang besar. Dengan nilai *disparity* yang besar, membolehkan pengukuran kedalaman dengan peningkatan yang baik dan ketepatan yang tinggi.

Daripada persamaan 3.11 koordinat titik pada imej diukur dengan merujuk kepada koordinat sistem dan asalan terletak pada persilangan paksi optik dengan satah imej. Jika memerlukan pengiraan koordinat imej dengan merujuk kepada sudut kiri bawah imej, x_L dan x_R perlu diganti dengan $x_L - x_{CL}$ dan $x_R - x_{CR}$, dimana x_{CL} dan x_{CR} adalah koordinat x persilangan paksi optik kamera dengan satah imej kiri dan kanan.

Perlu diingatkan, bahawa persamaan 3.11 menggunakan unit pengukuran yang sama untuk menerangkan koordinat imej dan objek. Walaubagaimanapun, koordinat imej diukur dalam unit seperti millimeter (mm) dan centimeter (cm) manakala koordinat imej diukur melalui piksel. Apabila paksi optik kamera adalah selari, pertindihan di antara imej kiri dan kanan semakin berkurangan jika objek semakin dekat dengan *baseline* [1].

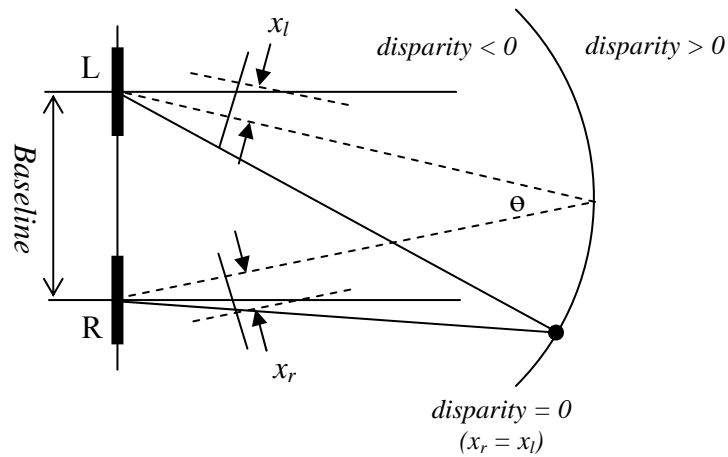
3.2.2 Permukaan Epipolar

Permukaan yang terhasil dari pusat kanta kamera dan titik pada pemandangan dipanggil permukaan epipolar. Persilangan antara permukaan epipolar dan permukaan imej pula dipanggil garisan epipolar. Walaupun dua kamera boleh diletakkan dalam pelbagai kedudukan dan orientasi, pemandangan titik imej kepada titik pandangan adalah di sepanjang garis pertemuan antara permukaan imej dengan permukaan epipolar yang berhubung kepada titik pandangan dan pusat daripada kanta kamera. Dari Rajah 3.2 jelas menunjukkan bahawa garis epipolar adalah tidak sepadan dengan garis permukaan imej. Garis epipolar boleh berada pada pelbagai kedudukan dalam permukaan imej bergantung kepada kedudukan dan orientasi kamera [6].



Rajah 3.2 : Permukaan epipolar dan garisan epipolar.

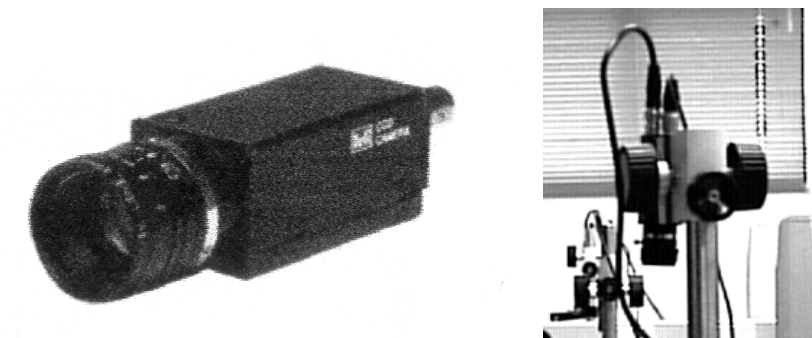
Dalam sesetengah kes, terdapat orientasi kamera di mana kedua-dua paksi optik kamera bersilang pada satu titik yang sama. Dalam keadaan ini, setiap titik yang terletak pada permukaan ini akan mempunyai *disparity* kosong. Bagi objek yang terlelak lebih jauh dari permukaan ini akan mempunyai *disparity* yang lebih besar dari sifar manakala bagi objek yang terlelak dalam permukaan ini mempunyai *disparity* yang kurang daripada sifar seperti dalam Rajah 3.3.



Rajah 3.3 : Kedudukan kamera pada *disparity* sifar.

3.3 Perolehan Imej

Bagi mendapatkan imej yang terbaik, penyediaan peralatan seperti kamera dan juga perisian yang sesuai adalah sangat penting. Pada permulaan projek ini, kamera CCD dari jenis Teli telah digunakan bersama dengan perisian National Instrument's Image Acquisition (NI-IMAQ). Peralatan dan perisian ini hanya dapat digunakan pada komputer yang telah disediakan di makmal kawalan, Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik. Dengan menggunakan perisian NI-IMAQ, imej-imej dapat di tangkap melalui kamera CCD tersebut dengan mudah. Imej-imej yang terhasil adalah dalam imej skala kelabu dengan saiz 640x480 piksel dan disimpan dalam format bitmap (*.bmp).

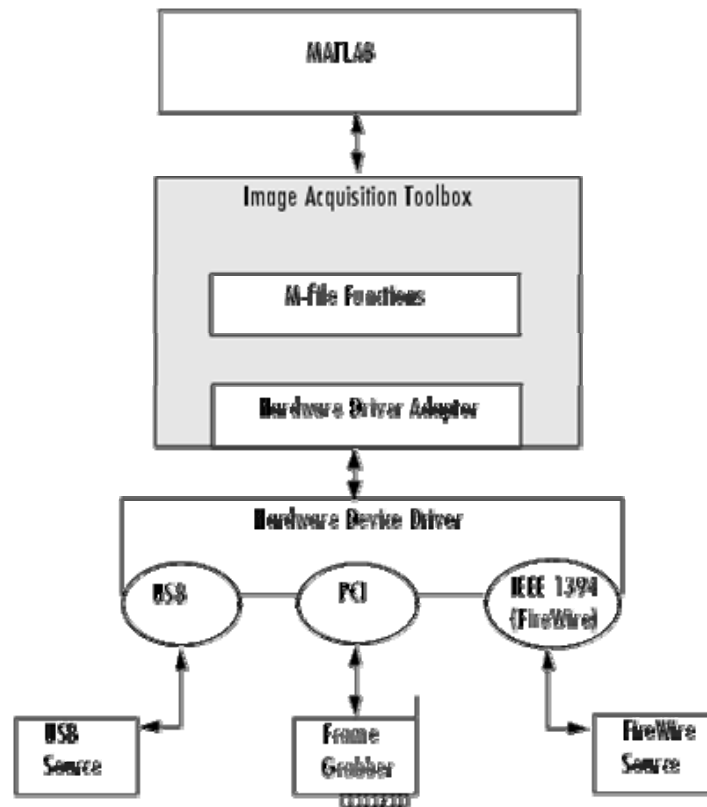


Rajah 3.4 : Kamera CCD dari jenis Teli.

Walaupun bagaimanapun, imej tersebut tidak begitu baik kerana masalah pencahayaan di dalam makmal kawalan itu. Sumber pencahayaan hanya bergantung kepada lampu-lampu siling dan juga cahaya matahari daripada luar makmal. Oleh itu, penggunaan objek-objek berwarna gelap dan latar belakang yang cerah bagi menghasilkan imej yang terbaik untuk dianalisis telah dilakukan. Objek-objek gelap tersebut dihasilkan dengan menggunakan kertas warna hitam dan latar belakang yang cerah dipilih seperti papan putih digunakan sebagai latar belakang. Beberapa alatan pengukuran digunakan seperti pembaris dan pita ukur untuk mendapatkan ukuran-ukuran sebenar.

Selain itu, kekangan yang dihadapi pada peringkat ini adalah penggunaan kamera yang terhad bagi setiap komputer. Melalui sistem penglihatan stereo, penggunaan dua kamera diperlukan bagi perolehan imej di bahagian kiri dan kanan pada masa yang sama. Tetapi melalui komputer yang disediakan di makmal kawalan, hanya satu kamera dapat digunakan bagi setiap komputer tersebut.

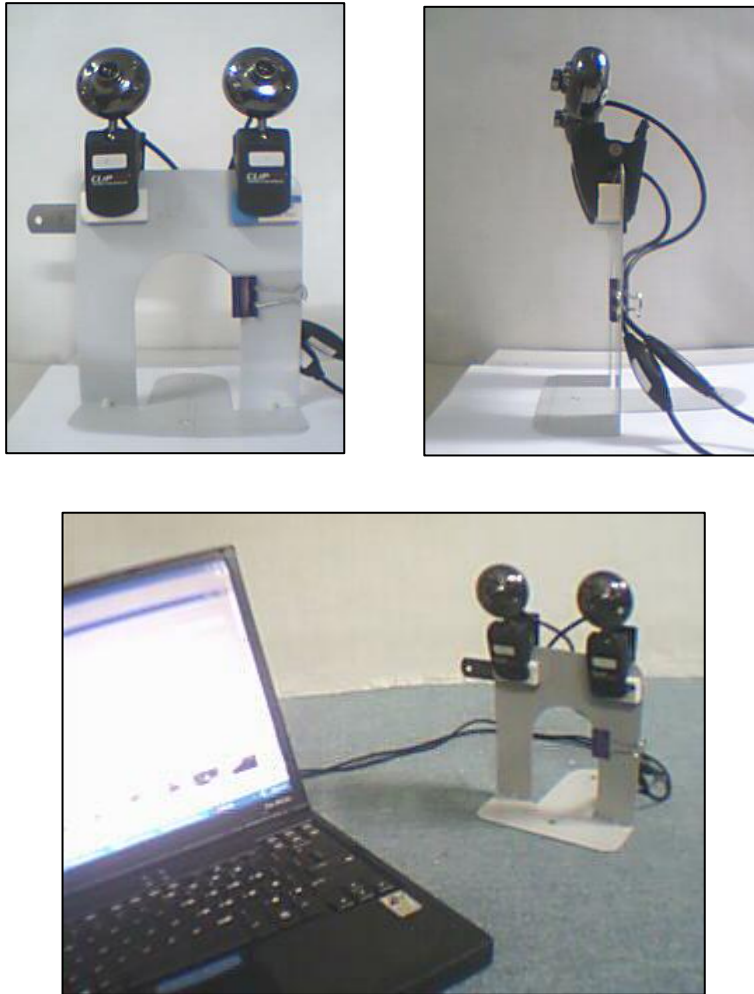
Selepas penerimaan dua kamera web, perkakasan ini dan juga perisian MATLAB telah digunakan secara keseluruhan bagi mendapatkan imej-imej untuk diproses dan dianalisis. Pada peringkat awal, kamera web ini diuji terlebih dahulu sama ada ia dapat beroperasi bersama *Image Acquisition Toolbox* dalam perisian MATLAB. Ternyata kamera web dari jenis Cliptec ini dengan sambungan USB dapat beroperasi bersama perisian MATLAB dan boleh menghasilkan imej RGB dengan saiz 480000 piksel. Berikut adalah perhubungan dalam *Image Acquisition Toolbox*.



Rajah 3.5 : Perhubungan dalam *Image Acquisition Toolbox*.

3.3.1 Susunatur Kamera

Rekabentuk sistem penyokong bagi kedua-dua kamera ini dilakukan bertujuan untuk membina sistem penglihatan stereo yang terbaik. Kedudukan kamera ini diletakkan pada secara mendatar supaya perubahan pada *baseline* mudah untuk dilakukan. Rangka sokongan ini terdiri daripada penahan buku dan juga pembaris bagi memudahkan bacaan *baseline* diambil. Susunatur yang ringkas ini membolehkan ianya digerakkan secara bebas untuk mendapatkan imej-imej pada jarak yang berbeza. Walaupun begitu, pelarasan kamera perlu diteliti supaya permukaan epipolar tidak berubah dan juga mengelakkan daripada imej herotan terhasil. Berikut merupakan susunatur kamera dan rangka sokongannya:



Rajah 3.6 : Susunatur kamera

3.3.2 Langkah-langkah Perolehan Imej Melalui MATLAB

Untuk membolehkan perkakasan perolehan imej iaitu kamera web berfungsi, *Image Acquisition Toolbox* memerlukan beberapa maklumat mengenai perkakasan tersebut. Di antaranya:

- Nama penyuai yang digunakan untuk menyambung perkakasan perolehan imej.
- ID perkakasan yang hendak digunakan.
- Format video yang hendak digunakan.

Dengan ini, penggunaan fungsi *imaqhwinfo* perlu dilakukan bagi mendapatkan maklumat tersebut. Langkah-langkah adalah seperti berikut: