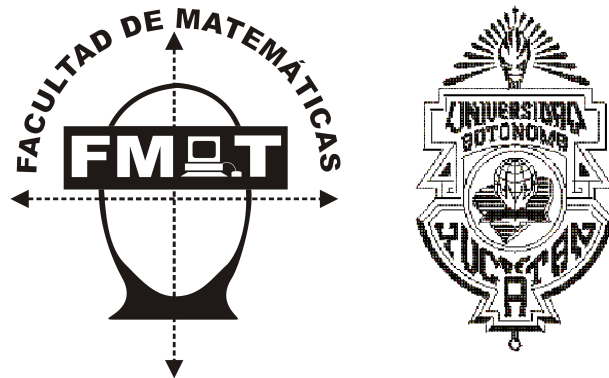


Calibración débil en paralelo a partir de una secuencia de imágenes.

LCC. Ariel Antonio Briceño Coronado.
aranbrico@gmail.com



Maestría en Ciencias Matemáticas.
Facultad de Matemáticas
Universidad Autónoma de Yucatán
2008

Declaración.

En cumplimiento de uno de los requisitos para la titulación en la Maestría en Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán, dirijo el presente documento como tesis de Maestría para obtener el grado de Maestro en Ciencias Matemáticas.

Declaro que esta tesis fue realizada enteramente por mi y describe mi propio trabajo de investigación con excepción de las partes que así se indiquen.

LCC. Ariel Antonio Briceño Coronado
Mérida, Yucatán
México
1 de Abril de 2008.

Agradecimientos.

- A Dios, por darme la vida.
- A mi familia, por ayudarme a vivir y enseñarme las cosas buenas de la vida. Gracias también por soportarme.
- A todos los compañeros de mi vida estudiantil, porque pasé gratos momentos con ellos.
- A mi asesor, el Dr. Arturo Espinosa Romero, por ayudarme con su amistad, experiencia y apoyo para el desarrollo de esta tesis. Es un amigo al que estimo mucho y siempre atento a sus enseñanzas.
- Al Dr. Ricardo Legarda Sáenz, por asesorarme en el desarrollo de esta tesis. Durante el tiempo que estuve trabajando con él, fue pasando de ser profesor a ser un amigo cuyos comentarios son siempre valorados.
- Al Dr. Luis Alberto Muñoz Ubando, porque con su amistad mi interés se enfocó al área de visión computacional.
- A los Doctores mencionados un especial agradecimiento porque con su llegada a FMAT no tuve la necesidad de ir lejos de mi lugar de origen para tener excelentes profesores y amigos que me ayudaron a conocer los principios de procesamiento de imágenes y visión computacional
- A la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán, porque en su laboratorio *LI²CoViR* se desarrolló la mayor parte de esta tesis.
- A todas las personas que con sus recomendaciones, hicieron que la elaboración de esta tesis, se terminara satisfactoriamente.

El trabajo desarrollado en esta tesis fue apoyado por una beca para asistente de investigación del proyecto CONACYT clave “SEP-2004-C01-47893”, cuyo responsable técnico es el Dr. Arturo Espinosa Romero.

Resumen.

El objetivo principal de esta tesis es conocer las ventajas del enfoque de algoritmos paralelos en visión tridimensional, que usualmente se plantean como procedimientos secuenciales. El documento presenta un estudio acerca de la paralelización de algoritmos de calibración débil de imágenes, usando una secuencia de 2 o más imágenes.

Para cada etapa en el proceso de calibración, se analiza las oportunidades de paralelización, se muestran los algoritmos secuenciales, los paralelos y se presentan también los resultados de las implementaciones así como las mejoras que se alcanzaron y proporciona una idea clara de lo que se puede lograr con un enfoque de paralelización en aprovechamiento de la computadoras actuales las cuales tienen más de dos núcleos de procesamiento.

El proceso que se describe a lo largo de este documento tiene un enfoque modular, *i.e.*, se pueden cambiar de acuerdo a necesidades, cualquier etapa en el proceso de calibración. Gracias al enfoque modular se tuvo la posibilidad de analizar cada etapa para conocer el comportamiento de los algoritmos paralelos en la arquitectura en la cual se implementaron.

Podemos resumir las fases del proceso de calibración desarrollado en este trabajo en tres etapas principales: detección de esquinas, correspondencia entre las imágenes y depuración de las correspondencias. Cada una de las etapas se describe de manera independiente, pero siempre manteniéndolas dentro del contexto del objetivo central.

Los resultados mostraron mejoras en el rendimiento con la paralelización de los algoritmos implementados y las gráficas en los capítulos desde el 3 hasta el 6 lo demuestran.

Índice general

Declaración.	III
Agradecimientos.	V
Resumen.	VII
Índice de figuras	XIV
Índice de cuadros	XV
Lista de algoritmos	XVII
1. Introducción.	1
1.1. Motivación del trabajo.	2
1.2. Objetivo de la tesis.	2
1.3. Trabajo relacionado.	4
1.4. Metodología.	9
1.5. Acerca de la computadora paralela.	10
1.6. Descripción del documento.	10
2. Fundamentos.	13
2.1. Modelos de computadoras	14
2.1.1. Modelo de máquina secuencial.	14
2.1.2. Modelos de computadoras paralelas.	14
2.1.3. Clasificación de computadoras paralelas.	17
2.2. Lenguajes de programación paralela.	19
2.3. ¿Cómo evaluar los algoritmos paralelos?	20
2.4. Visión geométrica.	22
2.4.1. Geometría epipolar.	22
2.4.2. Matriz fundamental.	23
2.4.3. Estimación de la matriz fundamental.	24

3. Detector de esquinas KLT.	27
3.1. KLT.	28
3.1.1. Algoritmo secuencial KLT.	29
3.1.2. Algoritmo paralelo KLT.	29
3.2. Experimentos.	32
3.3. Discusión de resultados.	38
4. Correspondencia entre imágenes.	41
4.1. Establecimiento del problema de correspondencia.	41
4.1.1. Modelos de deformación local.	42
4.1.2. Transformación de los valores de intensidad.	43
4.1.3. Criterio de Suma de Diferencias Cuadradas, SSD.	44
4.1.4. Criterio de Correlación Cruzada de media Cero Normalizada, ZNCC	45
4.2. Algoritmo de correspondencias.	46
4.2.1. Algoritmo secuencial de correspondencia.	46
4.2.2. Algoritmo paralelo de correspondencias.	49
4.3. Experimentos.	49
4.4. Discusión de resultados.	53
5. Estimación robusta RANSAC.	55
5.1. RANSAC.	56
5.1.1. Distancia umbral al modelo.	57
5.1.2. Número de muestras.	57
5.1.3. Tamaño suficiente del conjunto consenso.	57
5.1.4. Determinación del número de muestras adaptativamente.	58
5.2. Paralelización del RANSAC.	58
5.2.1. Análisis de Paralelización.	59
5.3. Estimación de la matriz fundamental.	61
5.4. Experimentos.	61
5.4.1. Experimentos con datos sintéticos.	61
5.5. Experimento con datos reales.	63
5.6. Discusión de resultados.	68
6. Algoritmo de calibración paralelo.	71
6.1. Secuencia ordenada de las etapas de calibración.	71
6.2. Algoritmo alternativo de calibración paralela.	72
6.2.1. Formación de los grupos.	74
6.2.2. Flujo de las imágenes.	75
6.2.3. Pruebas de calibración usando grupos de procesos.	75
6.3. Discusión de resultados.	78
7. Resumen y conclusiones.	83
7.1. Resumen.	83

A. Modelo de la cámara.	85
A.1. Modelo simple	85
A.2. Calibración intrínseca.	87
A.3. Matriz de proyección.	87
B. Visión geométrica.	89
B.1. Conceptos preliminares.	89
B.2. Medidas de distancias a la matriz fundamental.	90
B.2.1. Distancia de Sampson	90
B.2.2. Distancia epipolar simétrica	91
Bibliografía	92

Índice de figuras

1.1. Descripción esquemática del servicio de reconstrucción 3D instalado por EPOCH.	8
2.1. Modelo de computadora de Von Neumann.	15
2.2. Modelo de computadora paralela con memoria compartida.	16
2.3. Modelo de computadora paralela con memoria distribuida.	17
2.4. Geometría epipolar.	23
3.1. División de una imagen para el uso del detector de esquinas paralelo KLT	30
3.2. Gráficas de tiempos con el algoritmo paralelo KLT	34
3.3. Rapidez alcanzada del algoritmo paralelo KLT	35
3.4. Eficiencia del algoritmo paralelo KLT	36
3.5. Costo en el algoritmo paralelo KLT	37
3.6. Esquinas encontradas con KLT	38
4.1. Deformación traslacional y afín.	42
4.2. Ejemplo de regiones W y Ω para SSD ó ZNCC	47
4.3. Ejemplos del uso de SSD y ZNCC	48
4.4. Tiempos de asignación de correspondencias	51
4.5. Rapidez del algoritmo de correspondencia	52
4.6. Eficiencia del algoritmo de correspondencia	53
4.7. Costo implicado en el algoritmo paralelo de correspondencia	54
5.1. Datos sintéticos de prueba para RANSAC	62
5.2. Resultados de la ejecución de RANSAC con datos sintéticos	64
5.3. Gráfica de tiempos logrados con el algoritmo paralelo RANSAC	65
5.4. Gráfica de rapidez lograda con el algoritmo paralelo RANSAC	66
5.5. Gráfica de eficiencia lograda con el algoritmo paralelo RANSAC	68
5.6. Gráfica de costo implicado con el algoritmo paralelo RANSAC	69
5.7. Aplicación de RANSAC de un conjunto de correspondencias	70
6.1. Análisis de calibración en conjuntos de imágenes.	73
6.2. Formación de grupos de trabajo y comunicación	74
6.3. Flujo de las imágenes en al algoritmo paralelo alternativo de calibración.	77
6.4. Comparación entre los dos algoritmos de calibración	78

6.5. Proceso de calibración.	79
6.6. Análisis de calibración en conjuntos de imágenes.	81
A.1. Hombre dibujando un Lute.	85
A.2. Proyección perspectiva.	86
A.3. Aplicación de los parámetros internos	88

Índice de cuadros

3.1. Tiempos del algoritmo paralelo KLT	33
3.2. Rapidez alcanzada en la ejecución paralela del KLT	35
3.3. Eficiencia del algoritmo paralelo KLT	37
3.4. Costo implicado en el algoritmo paralelo KLT	38
4.1. Tiempos de la ejecución de asignación de correspondencias	50
4.2. Rapidez del algoritmo de correspondencia	51
4.3. Eficiencia obtenida con el algoritmo paralelo de correspondencias	52
4.4. Costo implicado en el algoritmo paralelo de correspondencias	53
5.1. Tiempos del algoritmo paralelo RANSAC	65
5.2. Rapidez del algoritmo paralelo RANSAC	66
5.3. Eficiencia derivada del algoritmo paralelo RANSAC	67
5.4. Costo implicado en el algoritmo paralelo RANSAC	68
6.1. Comparación de tiempos entre dos algoritmos de calibración	77

Lista de Algoritmos

2.1. Algoritmo de los 8 puntos normalizados.	25
3.1. Algoritmo secuencial del detector de esquinas KLT	29
3.2. Algoritmo paralelo del detector de esquinas KLT	32
4.1. Asignación de correspondencias a partir del mapa de valores	47
4.2. Algoritmo de asignación de correspondencias a partir un par de listas de esquinas	48
4.3. Algoritmo distribuido de asignación de correspondencias	49
5.1. Algoritmo de estimación robusta RANSAC	56
5.2. Cálculo adaptativo de las iteraciones de RANSAC	58
5.3. Algoritmo de estimación robusta RANSAC con cálculo adaptativo de las iteraciones N	59
5.4. Algoritmo paralelo RANSAC en una máquina con memoria distribuida	60
6.1. Algoritmo de calibración.	72
6.2. Algoritmo de calibración empleando grupos de procesos.	76