

Incoherent Optical Image Processing with the Generalized Hough Transform

Abstract

The generalized Hough transform (GHT) is a well-established technique for detecting complex shapes in images containing noisy or missing data. Detection of a geometric feature under the GHT is digitally accomplished by mapping the original image to an accumulator space (Hough space); the large computational requirements for this mapping make the optical implementation an attractive alternative to digital-only methods. In general, the attractiveness of optical processors for image processing applications (pattern recognition, feature extraction) lies in their highly parallel operation and real-time processing capability. However, few approaches have been proposed for the optical implementation of the GHT and all of them working under coherent illumination, even when it is well known that incoherent processors are not sensitive to the phase variations in the input plane and also exhibit no speckle noise.

Starting from the integral representation of the GHT we propose a correlator based in the point-spread function of a highly blurred optical system where the focal setting along with the orientation of the pupil can be efficiently controlled. This correlator works under fully (i.e., both spatially and temporally) incoherent illumination and can handle orientation changes or scale variations in the pattern. Real-time (as limited by the frame rate of the device used to capture the GHT) is achieved, allowing -besides static images- for the processing of video sequences. Based in the previous system, we implement temporal multiplexing strategies for pattern recognition of geometrical features of different size and orientation. Besides, given the inherently parallel nature of our system, we are able to simultaneously detect the same target at multiple locations. The robustness of our method against noise in the input, low contrast, or overlapping of geometrical features is also assessed. Finally, through the nonlinear filtering of the GHT and subsequent inversion (which is optically achieved in the incoherent system under appropriate focusing setting), the previously detected features of interest can be extracted.

Keywords: Hough transform, Optical image processing, Pattern recognition, Image segmentation

Resumen

La transformada de Hough generalizada (GHT) es una técnica bien establecida para la detección de formas complejas en imágenes conteniendo información ruidosa o incompleta. La detección de una característica geométrica usando la GHT se consigue digitalmente mediante el mapeo de la imagen original a un espacio de acumulación; los grandes requerimientos computacionales para conseguir este mapeo hacen de la implementación óptica una atractiva alternativa a los métodos sólo digitales. En general, el atractivo de los procesadores ópticos para aplicaciones de procesamiento de imágenes (reconocimiento de patrones, extracción de características) radica en su operación altamente en paralelo y su capacidad de procesamiento a tiempo real. Sin embargo, pocos acercamientos han sido propuestos para la implementación óptica de la GHT y todos trabajando bajo iluminación coherente, aún cuando es bien sabido que los procesadores incoherentes son insensibles a las variaciones de fase en el plano de entrada y no exhiben ruido de speckle.

A partir de la representación integral de la GHT proponemos un correlador incoherente basado en la respuesta al impulso de un sistema óptico fuertemente desenfoado, donde el ajuste focal así como la orientación de la pupila se pueden controlar eficientemente. Este correlador trabaja con iluminación completamente (es decir, tanto espacialmente como temporalmente) incoherente y puede tratar con cambios de orientación o variaciones de escala del patrón. Se logra además procesamiento a tiempo real (limitado por velocidad del dispositivo de captura de la GHT), lo que permite -además de imágenes estáticas- el procesamiento de secuencias de video. En base al sistema anterior implementamos estrategias de multiplexado temporal para el reconocimiento de características geométricas de diferente tamaño y orientación. Además, dada la naturaleza inherentemente paralela de nuestro sistema, podemos detectar simultáneamente el mismo objetivo en múltiples posiciones. La robustez del método frente a ruido en la entrada, bajo contraste o solapamiento de las características geométricas también es evaluada. Finalmente, a través del filtrado no lineal de la GHT y subsiguiente inversión (que se logra ópticamente en el sistema incoherente con un adecuado ajuste de foco), las características previamente detectadas pueden ser extraídas.

Palabras clave: transformada de Hough, Procesamiento óptico de imágenes, Reconocimiento de patrones, Segmentación de imágenes