

Detección de bordes basada en imágenes simultáneas de rango e intensidad

Luciano Lorenti, Javier Giacomantone, Armando De Giusti

Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI),
Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata - Argentina.
La Plata, Buenos Aires, Argentina.
{llorenti,jog,degiusti}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. Este artículo presenta un método de detección de bordes que mejora la calidad de los mismos utilizando dos imágenes de la misma escena, una de rango y otra de intensidad. Esto permite abordar problemas de segmentación donde la información de intensidad o de rango separadamente es insuficiente para detectar bordes continuos. El método propuesto opera sobre un grafo pesado en el cual elimina aristas espurias y une fronteras abiertas. Utiliza una función de costo que considera información espacial y topológica. Se presentan resultados experimentales sobre imágenes reales, utilizando cámaras de tiempo de vuelo (TOF), que permiten evaluar el método propuesto.

Palabras clave: Segmentación, Detección de Bordes, Cámaras de Tiempo de Vuelo.

1. Introducción

La detección de bordes o segmentación basada en discontinuidades es una etapa fundamental en los sistemas de visión por computador [1]. Métodos de segmentación utilizados con éxito en ambientes industriales, con colores e iluminación controlada, no obtienen resultados similares en contextos diferentes. Una alternativa para abordar problemas en que las condiciones de contorno no permiten una segmentación adecuada es incorporar información de profundidad, es decir, la distancia a la que se encuentran los objetos que conforman la escena respecto al dispositivo de captura [2] [3]. En este contexto, la segmentación de imágenes consiste en utilizar algoritmos que utilicen ambas fuentes de información y no sólo los niveles de intensidad [4][5]. Distintos métodos de detección de bordes basados en operadores derivativos de primer y segundo orden sobre una imagen dada permiten obtener un mapa de bordes. Los mapas de bordes que éstos métodos generan están compuestos por un conjunto de puntos ubicados sobre las fronteras de los objetos en la imagen. Los mapas de bordes, por lo general, presentan discontinuidades e irregularidades [6]. Dado un mapa de bordes la representación más directa de alto nivel consiste en resolver las discontinuidades y cerrar contornos por proximidad, similitud y simetría. Métodos basados en

teoría de grafos han sido propuestos para enlazar bordes discontinuos y eliminar bordes espurios [6][7]. El método propuesto en [6] obtiene la triangulación de Delaunay de los puntos de bordes y luego calcula el árbol recubridor mínimo de los mismos. La poligonal formada por el árbol recubridor mínimo conforma la información de bordes inicial para el método propuesto. Han sido propuestas recientemente distintas estructuras de grafos que pueden ser definidas sobre un conjunto de puntos en el plano. El objetivo es encontrar el grafo que preserve la relevancia perceptual de los patrones. Estos grafos incluyen el árbol recubridor mínimo, los grafos Gabriel, los grafos de vecindad relativa, los grafos de esferas de influencias y la triangulación de Delaunay. En este trabajo se presenta un método de clausura de contornos obtenidos a partir de imágenes capturadas con una cámara de tiempo de vuelo. En una primera etapa se obtiene el grafo de esferas de influencias generado a partir de los puntos de bordes. Luego se filtra la información de bordes utilizando operaciones morfológicas definidas sobre el grafo. A partir de la información de bordes filtrada se enlazan los bordes abiertos mediante la minimización de una función de costo. Por último se fusiona la información de bordes de las dos imágenes.

El artículo está organizado del siguiente modo, en la sección 2 se describe el método propuesto. En la sección 3 se muestran los resultados experimentales obtenidos. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones.

2. Detección y enlazado de bordes discontinuos

La técnica propuesta consiste en cuatro etapas consecutivas: primero los puntos de bordes representados en un espacio bidimensional son considerados como vértices de un grafo pesado. Las aristas conectan dos vértices si se encuentran dentro de un radio determinado. El peso asociado a cada arista corresponde a una función de distancia definida entre los puntos. Como segunda etapa se realiza un proceso de filtrado basado en operaciones morfológicas. La tercera etapa consiste en enlazar bordes mediante la minimización de una función de costo. Por último se fusiona la información de bordes enlazados de las dos imágenes para obtener el resultado final.

2.1. Construcción del grafo

Sea $I(r, c)$ una imagen de R filas y C columnas y sea $B(r, c)$ la información de bordes de la imagen obtenida previamente mediante un método de detección de bordes. El objetivo de esta etapa consiste en conectar aquellos puntos de bordes próximos, evitando generar aristas inexistentes. Para esto se calcula el grafo de esferas de influencias con los puntos de bordes detectados. Este grafo de proximidad fue introducido por Toussaint [8] para modelar problemas de visión por computador y de reconocimiento de patrones. Una de las características principales que diferencian al grafo de esferas de influencias con respecto a otros grafos de proximidad, es que el grafo de esferas de influencia no es necesariamente conexo. Los grafos de esferas de influencias producen componentes desconectados

que concuerdan con la percepción humana sin la necesidad de la configuración de parámetros [9]. Sea $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ un conjunto de puntos en el plano. Sea r_i la distancia mínima entre x_i y su vecino más próximo. La esfera de influencia de x_i es el círculo con centro en x_i y radio r_i . El grafo de esferas de influencias $G = (V, E)$ tiene $V = X$ con una arista uniendo un par de vértices distintos siempre que las esferas de influencias correspondientes se intersecten, como se muestra en la figura 1. Con el objetivo de evitar la presencia de múltiples aristas en las esquinas de los objetos se impone una restricción adicional. Dos vértices son conectados entre sí, si las esferas de influencias se intersectan y además no existe un camino menor a λ aristas que los una.

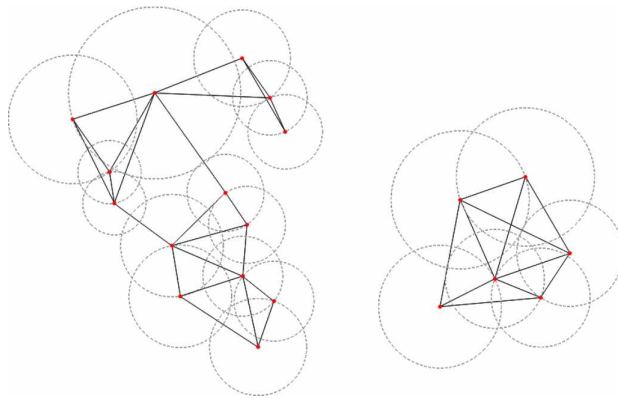


Figura 1. Grafo de esferas de influencias

2.2. Filtrado de grafo

Al construir el grafo de bordes fueron generadas algunas pequeñas ramificaciones conectadas con las aristas de bordes principales. Estas ramificaciones se deben a información redundante o ruidosa. Con el objetivo de realizar el proceso de eliminación de las mismas, se utiliza el método de filtrado morfológico propuesto en [6]. El método ilustrado en la figura 2 utiliza conceptos de morfología matemática para realizar un algoritmo de apertura sobre el grafo. Este algoritmo consiste en realizar un proceso iterativo de erosión seguido de una etapa de dilatación aplicada tantas veces como requirió la de erosión. El algoritmo de apertura asume a cada arista como elemento básico de procesamiento.

En este contexto la erosión es definida como la eliminación de las aristas que conecten a vértices de grado 1. La etapa de erosión es aplicada n veces en cada iteración y todos los segmentos finales son eliminados. El número de iteraciones se determina automáticamente de acuerdo a la diferencia entre los elementos eliminados en cada iteración: $\delta = Re(t) - Re(t - 1)$, donde $Re(t)$ representa la cantidad de elementos removidos en la iteración t . El proceso de erosión termina

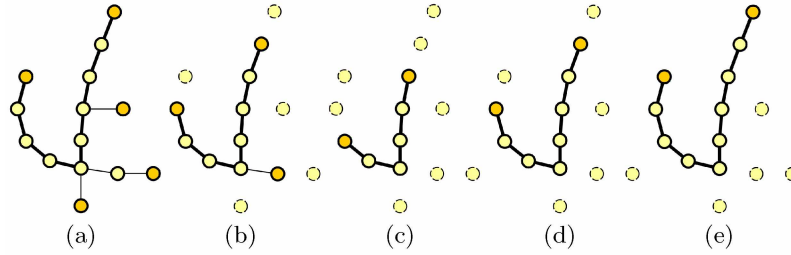


Figura 2. Dos iteraciones de la operación de apertura. (a) Grafo Inicial. (b) Grafo luego de la primer erosión. (c) Grafo luego de la segunda erosión. (d) Grafo luego de la primera dilatación. (e) Grafo luego de la segunda dilatación.

cuando la diferencia δ es cero en al menos r iteraciones consecutivas. Luego de finalizar el proceso de erosión, se realizan n dilataciones. Las dilataciones son llevadas a cabo sobre los segmentos no erosionados. La etapa de dilatación consiste en volver a insertar los segmentos que estaban conectados con cada uno de los vértices de grado 1 presentes en cada iteración. Por lo tanto es necesario almacenar los segmentos no eliminados durante las etapas de erosión. Los puntos que quedaron desconectados al finalizar la etapa de erosión son eliminados de la imagen binaria $\mathbf{B}(r, c)$.

2.3. Algoritmo de enlace de bordes

Luego de remover las pequeñas ramificaciones, el algoritmo se enfoca en detectar y cerrar los contornos abiertos. Estos contornos son caracterizados por aristas que conectan al menos un vértice de grado 1. Primeramente son detectados estos vértices extremos. Luego, por cada punto extremo j se seleccionan un conjunto de puntos de bordes candidatos para unir con el punto j . Los puntos de bordes candidatos son seleccionados por medio de un proceso iterativo sobre un círculo de radio p centrado en el punto j . Luego de extraer el conjunto de puntos candidatos $V_p(i)$ en una iteración, se calcula el costo $E(j, k)$ de conectar cada uno de los puntos posibles $k \in V_p(i)$ con el punto dado.

$$E(j, k) = d(j, k) * (1 + \frac{\sigma_i}{\mu_i} * \frac{\sigma_r}{\mu_r})$$

$d(j, k)$ es la distancia euclídea 2D entre el punto j y el punto k y $(1 + \frac{\sigma_i}{\mu_i} * \frac{\sigma_r}{\mu_r})$ puede ser considerado como un factor de ponderación: σ_i y σ_r representan la desviación estándar de los niveles de intensidad y de rango asociados con el conjunto de píxeles que define el segmento que une al vértice j con el vértice k , denominado S_{jk} . μ_i y μ_r representan el valor de la media de intensidad y de rango, respectivamente, de ese conjunto de píxeles. Los puntos definidos por S_{jk} pueden ser calculados mediante el algoritmo de Bresenham [10]. La idea principal de este factor de ponderación consiste en evitar unir puntos de borde con un valor de intensidad o rango similar, pero a través de un área con diferentes valores de

intensidad o rango. La varianza de los valores de los puntos que definen a S_{jk} son multiplicados por un factor de escala σ_i y σ_r para obtener un peso relativo a los valores en esa área [6].

2.4. Fusión de aristas

Por lo general las aristas de la imagen de intensidad no coinciden con las aristas de la imagen de rango. En [5] se muestra que hay un desplazamiento horizontal de un píxel hacia la derecha o hacia la izquierda, esto se debe a distorsiones geométricas en el proceso de adquisición de la cámara o a variaciones introducidas por el método de extracción de contornos. Si una arista de la imagen de intensidad se encuentra cerca de una arista de la imagen de rango y ambas tienen la misma dirección, son consideradas como representantes de la misma frontera del objeto. En este caso, la arista de la imagen de intensidad puede ser preservada mientras que la arista de la imagen de rango puede ser descartada [11]. Sea $G_I = (V_I, E_I)$, $G_R = (V_R, E_R)$ los grafos filtrados obtenidos a partir de la imagen de intensidad y de la imagen de rango respectivamente. Primeramente se inicializa el conjunto de bordes final con E_R . A continuación se calcula el punto medio y la dirección de cada arista perteneciente a E_I y E_R . Luego por cada arista de $a_i \in E_I$ con centro en c_{a_i} se buscan las aristas $V(a_i) = \{a_r \in E_R \mid \|c_{a_r} - c_{a_i}\|_2 < r\}$ donde c_{a_r} es el centro de la arista a_r . Si $V(a_i) = \emptyset$ la arista a_i es agregada al conjunto de bordes final. Si $V(a_i) \neq \emptyset$ y la arista de intensidad a_i difiere en orientación por más de g grados con las $a_r \in V(a_i)$ la arista a_i es agregada al conjunto de bordes final.

2.5. Descripción de método propuesto

Sea $I(r, c)$ la imagen de intensidad y $B_I(r, c)$ la información de bordes de la imagen de intensidad y sea $R(r, c)$ la imagen de rango y $B_R(r, c)$ la información de bordes de la imagen de rango.

1. a) Se obtiene el grafo de esferas de influencias G_I de los puntos $\{(x, y) \in B_I(r, c)\}$.
b) Se obtiene el grafo de esferas de influencias G_R de los puntos $\{(x, y) \in B_R(r, c)\}$.
2. a) Se realiza el proceso de apertura sobre el grafo G_I .
b) Se realiza el proceso de apertura sobre el grafo G_R .
3. Se fusiona la información de G_I y G_R para formar el grafo G_{IR}
4. Se enlazan los contornos del grafo G_{IR}
5. Se realiza el proceso de apertura sobre el grafo G_{IR}

3. Resultados experimentales

El rendimiento del algoritmo de segmentación propuesto fue evaluado sobre 50 imágenes capturadas utilizando la cámara de tiempo de vuelo MESA

SwissRanger SR4000 [12] y el conjunto de datos completo facilitado por el Laboratorio de Tecnología Multimedia y Telecomunicaciones de la Universidad de Padua [13]. La cámara de tiempo de vuelo MESA SwissRanger SR4000 proporciona dos imágenes: una imagen de amplitud y una imagen de rango ambas de 144×176 píxeles. El conjunto de datos [13] contiene imágenes capturadas con una cámara de tiempo de vuelo y una cámara RGB tradicional.

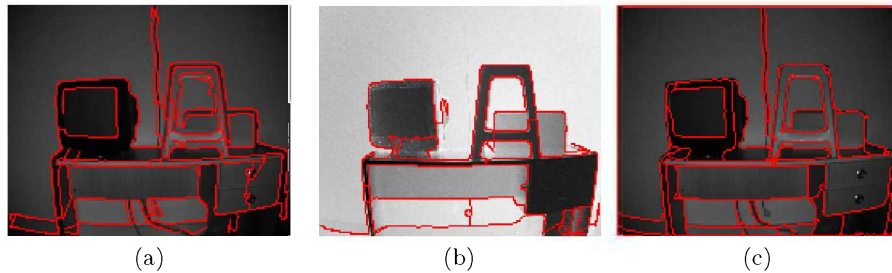


Figura 3. Detección de bordes utilizando el método propuesto

La figura 3 presenta resultados experimentales del método propuesto aplicado a una imagen obtenida con la cámara de tiempo de vuelo MESA SwissRanger SR4000. Las figuras 3(a) y 3(b) muestran los resultados obtenidos al aplicar el método propuesto por Sappa [6] sobre las imágenes de intensidad y rango respectivamente. La figura 3(c) muestra los bordes obtenidos aplicando el método propuesto.

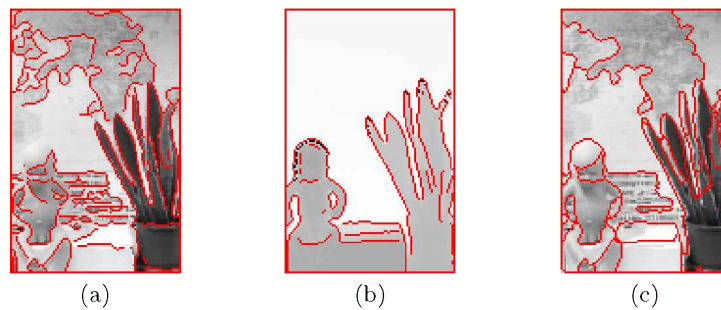


Figura 4. Extracción de bordes utilizando el método propuesto

La figura 4 muestra el resultado de aplicar el algoritmo propuesto sobre una imagen del conjunto de datos de la Universidad de Padua. La figura 4(a) muestra los bordes obtenidos aplicando el método de Canny sobre la imagen de amplitud. La figura 4(b) muestra la imagen de rango con la información

de bordes obtenida mediante el método de Canny. La figura 4(c) muestra el resultado de aplicar el algoritmo propuesto. Se puede observar como el método propuesto cierra correctamente los contornos de los objetos.

Las figura 5 muestran otra captura real generada mediante la cámara de tiempo de vuelo SwissRanger SR4000. La figura 5(a) y 5(b) muestra la información de bordes obtenida mediante el método de Canny aplicado a la imagen de intensidad y de rango respectivamente. La figura 5(c) muestra los bordes utilizando el método propuesto.

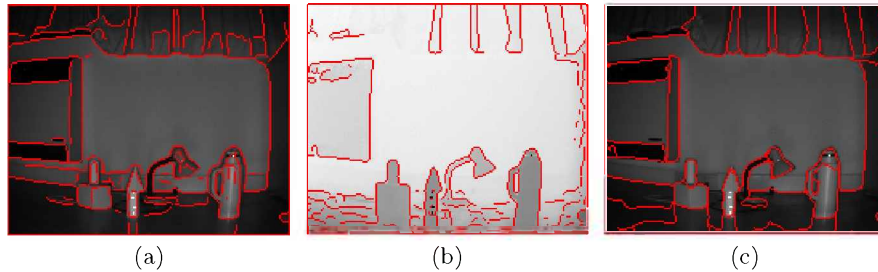


Figura 5. Generación de bordes utilizando el método propuesto

4. Conclusiones

En este artículo presentamos un método de detección de bordes que utiliza imágenes de rango e intensidad. Los resultados experimentales muestran que el método propuesto combina información de ambas imágenes generando bordes mas conectados. Los resultados comparativos presentan, para el método propuesto, una reducción de bordes adicionales generados en el proceso de segmentación. Una etapa de trabajo futuro prevé extender los resultados experimentales e incorporar información de color en la función de costo.

Referencias

1. J. Canny, "A computational approach to edge detection," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. PAMI-8, pp. 679–698, Nov 1986.
2. D. Holz, S. Holzer, R. B. Rusu, and S. Behnke, "Real-time plane segmentation using rgb-d cameras," in *RoboCup 2011: Robot Soccer World Cup XV*, pp. 306–317, Springer, 2012.
3. G. M. Hegde and C. Ye, "A recursive planar feature extraction method for 3d range data segmentation," in *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 3119–3124, IEEE, 2011.
4. A. Bleiweiss and M. Werman, "Fusing time-of-flight depth and color for real-time segmentation and tracking," in *Dynamic 3D Imaging*, pp. 58–69, Springer, 2009.

5. G. Danciu, M. Ivanovici, and V. Buzuloiu, "Improved contours for tof cameras based on vicinity logic operations," in *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2010 12th International Conference on*, pp. 989–992, May 2010.
6. A. D. Sappa and B. X. Vintimilla, "Cost-based closed-contour representations," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 16, no. 2, pp. 1–9, 2007.
7. A. D. Sappa, "Efficient closed contour extraction from range image's edge points," in *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*, pp. 4333–4338, IEEE, 2005.
8. G. T. Toussaint, "The sphere of influence graph: Theory and applications,"
9. T. Michael and T. Quint, "Sphere of influence graphs in general metric spaces," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 29, no. 7, pp. 45–53, 1999.
10. T. Pavlidis, *Algorithms for graphics and image processing*. Computer science press, 1982.
11. H. Yue, W. Chen, J. Wang, and X. Wu, "Combining color and depth data for edge detection," in *Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 928–933, Dec 2013.
12. M. Cazorla, D. Viejo, and C. Pomares, "Study of the sr 4000 camera," in *XI Workshop de Agentes Físicos*, 2004.
13. M. Technology and U. o. P. Telecommunications Laboratory, "Joint color and depth segmentation datasets," July 2014.