

Percepción Activa para la Identificación y Localización de Patrones 2D.

Aplicación a la Localización de Juntas Parcialmente Solapadas*

Lluís Ros y Federico Thomas
Institut de Cibernètica (UPC – CSIC)
Diagonal 647, 2 planta
08028 Barcelona

e-mails (EARN) : ROS@IC.UPC.ES, THOMAS@IC.UPC.ES

Resumen : El objetivo de este trabajo es la identificación y localización de patrones 2D, posiblemente solapados, en base a información dispersa adquirida de forma activa. Con este objetivo se combinan dos técnicas conocidas, como son: (1) el análisis de información local para la localización de modelos previamente almacenados en base a la aplicación de restricciones de consistencia entre los datos obtenidos; y (2) la utilización de una serie de hipótesis para obtener una estrategia sensorial que nos permita decidir, lo más rápidamente posible, cuál es la correcta de entre todas ellas. Se describe, además, un caso práctico en el que, en base a la conjunción de las dos técnicas mencionadas, se lleva a cabo la localización de hasta 31 juntas diferentes que pueden encontrarse parcialmente solapadas.

1 Introducción

Este trabajo trata el tema de la identificación y localización de patrones 2D, posiblemente solapados, en base a información dispersa adquirida de forma activa; es decir, adquirida de modo que las interpretaciones generadas durante la identificación son utilizadas para obtener nueva información sobre regiones no exploradas que puedan hacer que el sistema se decida más fácilmente por alguna de las interpretaciones posibles.

Los modelos utilizados se supondrán poligonales (*fig. 1*) y la información sensorial adquirida, puntos del contorno de los objetos y las normales hacia afuera en ellos.

El algoritmo adoptado consiste en la aplicación iterativa, hasta alcanzar una identificación y localización satisfactorias (con cierto grado de confianza), de los siguientes tres pasos:

- (1) *Generación de interpretaciones.* Una interpretación consiste en un emparejamiento entre informaciones y elementos del modelo que satisfacen una serie de restricciones locales.
- (2) *Comprobación de las interpretaciones.* La interpretación elegida es verificada a nivel global. Si esta verificación es positiva, la interpretación se supone consistente y se procede con el siguiente paso. De lo contrario, se vuelve al paso anterior.
- (3) *Verificación.* Se genera un plan de adquisición de nueva información sobre regiones no exploradas y que, presumiblemente, hará aumentar la confianza de la interpretación con la que se trabaja, o bien, permitirá descartar dicha interpretación.

Como resultado final se obtiene una interpretación consistente habiendo realizado el número más pequeño de comprobaciones posibles.

La estructura de este artículo responde a los tres pasos apuntados anteriormente. Las tres próximas secciones se dedicarán a cada uno de ellos. Finalmente, se proporcionan algunos detalles de un caso práctico: el reconocimiento y localización de hasta 31 juntas que posiblemente puedan encontrarse parcialmente ocultas.

*Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), con cargo a los proyectos "Razonamiento espacial automático basado en restricciones"(TIC 88-0197) y "Sistema de percepción con integración multisensorial para robótica y automatización"(ROB 89-0287).

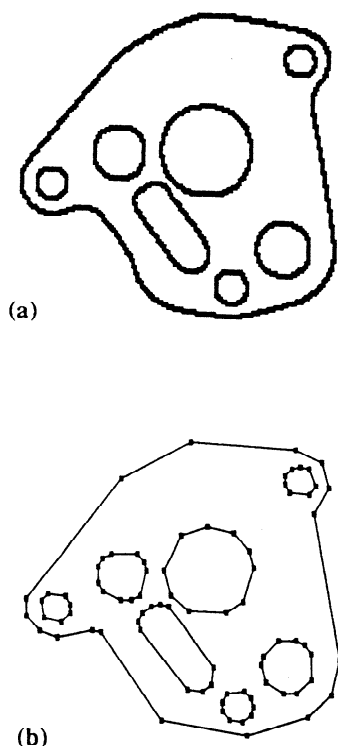


Figura 1. Ejemplo de generación de modelos. (a) Imagen obtenida tras la extracción de los contornos de un patrón 2D a modelar. (b) Modelo obtenido por interpolación de segmentos de longitud variable.

2 Generación de interpretaciones

La búsqueda de interpretaciones se lleva a cabo en base a la generación y exploración de una estructura de datos denominada *árbol de interpretaciones* (Grimson 1986). En efecto, los posibles emparejamientos entre puntos-normales y aristas del modelo pueden ser representadas en forma de árbol. El nodo raíz para un objeto tiene tantos descendientes como posibles emparejamientos un dato pueda tener, y habrá tantos niveles en el árbol como datos adquiridos.

Un árbol de interpretaciones completo sería aquel en el cada dato podría estar emparejado con todas las aristas. Para un árbol tal, el número de posibles interpretaciones, dados s datos sensoriales y n aristas en el modelo, es n^s . Por consiguiente, no es razonable explorar un árbol completo a la búsqueda de interpretaciones consistentes. La solución más práctica a este problema, tal como se describe en (Grimson 1986b), (Grimson y Lozano-Pérez 1985) y (Grimson y Lozano-Pérez 1987), consiste en utilizar restricciones locales e independientes del sistema de referencia.

Las dos restricciones locales utilizadas aquí son:

- (1) Las distancias entre pares de datos han de ser consistentes con el rango de distancias posibles entre puntos sobre las aristas del modelo emparejadas con cada uno de ellos.
- (2) Los ángulos entre las normales medidas en cada par de puntos del contorno debe incluir el ángulo conocido entre las normales de las aristas emparejadas con ellos en una interpretación.

El efecto que la aplicación de estas restricciones provocan en la reducción del tamaño del árbol de interpretaciones es analizado en (Grimson 1986a).

El hecho de que varios modelos puedan estar solapados, tal como se apunta en (Grimson y Lozano-Pérez 1985), da lugar a datos extraños a la interpretación. Esto puede caracterizarse añadiendo una arista *muda* a cada nivel del árbol de interpretaciones. Emparejar un dato con esta arista equivale a descartar dicha medida como inconsistente con la interpretación en curso. Es evidente que la aplicación directa de esta idea a la búsqueda en un árbol de interpretaciones da lugar a comportamientos inaceptables (Grimson y Lozano-Pérez 1985), es por ello que la decisión de emparejar un dato con una arista muda deba tomarse únicamente cuando todas las demás alternativas ya hayan sido exploradas.

3 Comprobación global de la interpretación. Estimación de la posición

En el paso anterior, una vez aplicadas las restricciones locales de ángulo y distancia, sobreviven, en general, algunas interpretaciones. Cada una de éstas consiste en un grupo de tripletes (P_i, N_i, C_i) , donde P_i es el punto medido del contorno, N_i la normal en dicho punto y C_i la arista. Es preciso comprobar ahora si éstas son o no consistentes. Para ello hay que:

- (1) Calcular una transformación que lleve el modelo supuesto sobre los puntos leídos del objeto real.
- (2) Comprobar que mediante esta transformación no solamente los puntos caen sobre las rectas que definen el contorno del modelo, sino que están situados entre los límites de cada arista asignada.

Para resolver el problema pueden plantearse diversos métodos (Grimson y Lozano-Pérez 1984), (Faugeras y Hebert 1983). El que aquí se utiliza se basa en el descrito en (Grimson y Lozano-Pérez 1984), ya que resulta el más simple. La alternativa propuesta en (Faugeras y Hebert 1983), basado en un ajuste por mínimos cuadrados utilizando el álgebra de cuaterniones, da lugar a resultados más exactos a costa de un tiempo de cómputo más elevado.

4 Verificación. Generación de una estrategia sensorial

Tras analizar los datos iniciales, hay que adquirir más información del objeto si con ellos no se ha obtenido una interpretación única. Se podrían leer más puntos de forma aleatoria, pero para aumentar la rapidez del método es conveniente calcular un *camino sensorial* que descarte el mayor número de interpretaciones posibles. El método seguido con este fin (Ellis 1986) se basa, en síntesis, en los siguientes dos pasos:

- (1) Dado un conjunto de aristas no asignadas, determinar un camino recto que cruce el mayor número de ellas.

Para este fin se utiliza el concepto de espacio de proyecciones (EP). Se demuestra que el haz de rectas que pasan por el punto (P_x, P_y) con pendientes α en el intervalo $(\alpha_{min}, \alpha_{max})$ (fig. 2a), tiene por ecuación:

$$Q_p(\alpha) = P_x - P_y \alpha \quad (1)$$

donde Q_p es el valor de la abscisa en el origen de cada recta. Esta es precisamente la ecuación de una recta en el espacio EP con abscisa Q_p y ordenada α (fig. 2b).

A partir de esto es fácil ver que el haz de rectas con pendiente entre α_{min} y α_{max} que cruzan una arista dada, queda representado por un polígono convexo en el EP cuyos puntos interiores parametrizan directamente una recta particular de este haz.

Por último, basta hallar un punto del interior del polígono de mayor área que resulte de intersectar los polígonos correspondientes a los segmentos del conjunto dado de aristas no asignadas (fig. 3).

- (2) Evaluar la calidad del anterior camino para adquirir correctamente y con el mínimo error, los datos de las aristas que se van a cruzar.

El camino será bueno si las caras que cruza son "suficientemente distintas" entre sí. Es decir, dadas dos aristas contactadas cualesquiera, el ángulo entre sus normales y la distancia entre dos puntos cualesquiera sobre ellos deben ser valores mayores a los mínimos distinguibles por el sensor utilizado.

5 Una aplicación

Las ideas anteriores han sido aplicadas al reconocimiento de 31 juntas distintas que posiblemente puedan encontrarse solapadas (fig. 4). El equipo utilizado consiste en un ordenador personal con

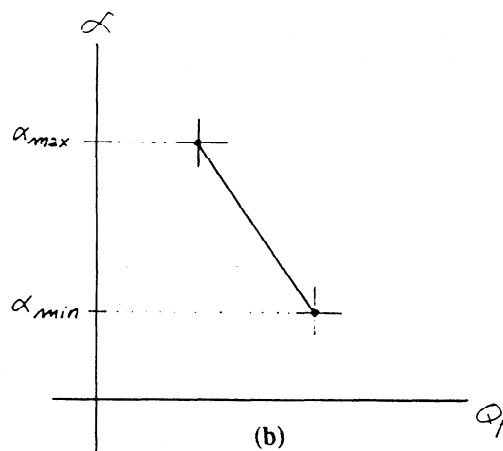
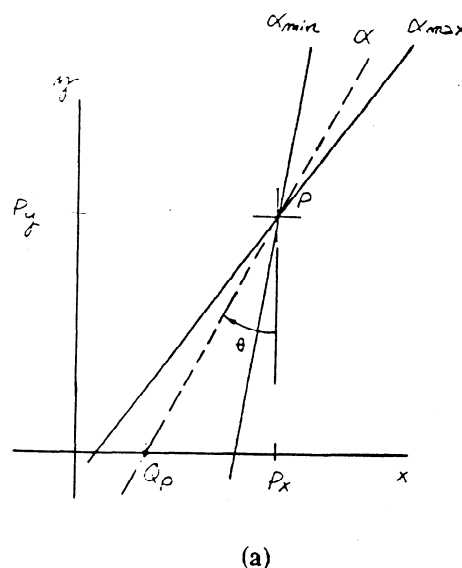


Figura 2. (a) Haz de rectas que pasan por el punto (P_x, P_y) con pendiente comprendida entre α_{min} y α_{max} . (b) Segmento que define el haz de rectas anterior sobre el EP.

procesador 80386 y un conjunto de tarjetas, de la serie IMAGE de MATROX, para la adquisición, procesamiento y representación de imágenes. El reconocimiento de la juntas se lleva a cabo sobre imágenes previamente binarizadas tomando un punto exterior a los objetos y ejecutando barridos lineales sobre ellos que inicialmente son aleatorios y, a medida que se progresa en la identificación, se basan en el camino sensorial generado tal como brevemente se ha descrito.

Supongamos que aleatoriamente tomamos dos puntos del contorno de la junta que aparece en la figura 1. Aceptando un error posible de ± 10 grados en las normales asociadas, aparecen seis interpretaciones en la localización de dicha junta (fig. 5a). Tomando también aleatoriamente un tercer punto del contorno,

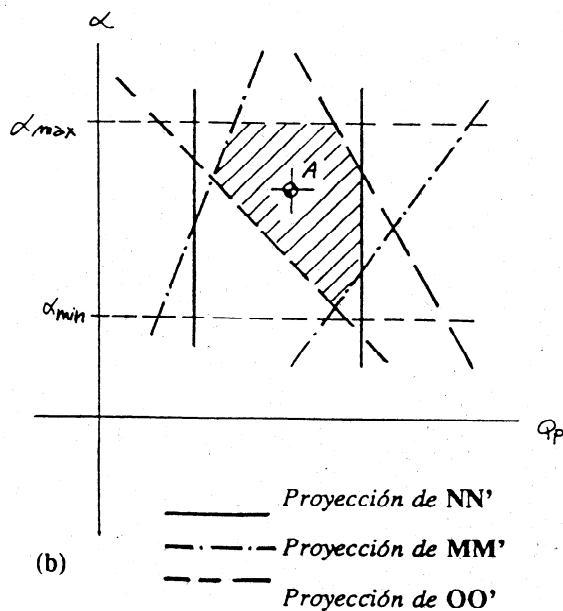
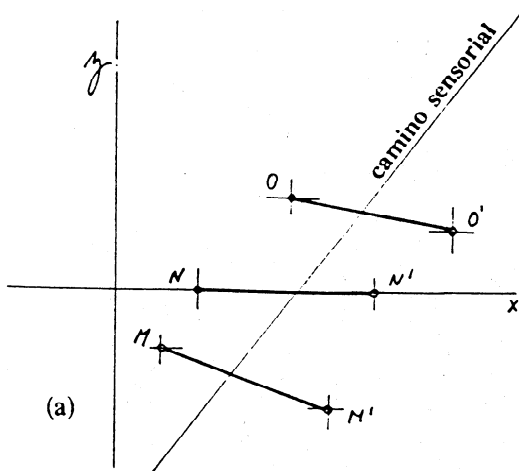


Figura 3. (a) Camino sensorial que atraviesa tres aristas dadas. (b) Polígono convexo en el EP cuyos puntos interiores corresponden a caminos sensoriales que atraviesan las tres aristas consideradas.

el número de interpretaciones queda reducido a dos (fig. 5b). Una elección más hábil hubiera hecho reducir a una el número de interpretaciones (fig. 5c). Si, con los mismos datos anteriores, se intenta ajustar el modelo de otra junta, los resultados obtenidos aparecen en las figuras 5d y 5e). En este caso, la tercera combinación de datos no da lugar a ninguna interpretación posible, concluyéndose que los datos utilizados no pueden corresponder a la junta escogida.

Un aspecto importante del formalismo utilizado es que no es únicamente aplicable a los datos obtenidos

por un sistema de visión, sino también a los procedentes de sensores de proximidad y táctiles. Ello permite la utilización de sensores de naturaleza distinta en tareas de identificación y localización, proporcionando una herramienta importante para la integración sensorial.

6 Referencias

- Ellis (1986) R.E. Ellis "A tactile Recognition strategy for planar objects", COINS Technical Report 86-32, University of Massachusetts, 1986.
- Faugeras y Hebert (1983) O.D. Faugeras and M. Hebert "A 3-D Recognition and Positioning Algorithm Using Geometrical Matching Between Primitive Surfaces", *Proc. Eighth Int. Joint Conf. Artificial Intell.*, Los Altos, CA, William Kaufmann, 1983, pp. 996-1002.
- Grimson (1986a) W.E.L. Grimson, "The Combinatorics of Local Constraints in Model-Based Recognition and Location from Sparse Data", *J. ACM*, vol. 33, no. 4, pp. 658-686, 1986.
- Grimson (1986b) W.E.L. Grimson "Disambiguating Sensory Interpretations Using Minimal Sets of Sensory Data", *1986 IEEE Conf. on Rob. and Auto.*, pp. 286-292, San Francisco, California, 1986.
- Grimson y Lozano-Pérez (1984) W.E.L. Grimson y T. Lozano-Pérez, "Model-based and localization from sparse range or tactile data", *Inter. J. of Robotics Research*, vol. 3, no. 3, pp. 3-35, 1984.
- Grimson y Lozano-Pérez (1985) W.E.L. Grimson y T. Lozano-Pérez, "Recognition and Localization of Overlapping Parts from Sparse Data in Two and Three Dimensions", *1985 IEEE Conf. on Rob. and Auto.*, St. Louis, Missouri, 1985.
- Grimson y Lozano-Pérez (1987) W.E.L. Grimson y T. Lozano-Pérez, "Localizing Overlapping Parts by Searching the Interpretation Tree", *IEEE Trans. Pattern Anal. and Machine Intell.*, vol. PAMI-9, no. 4, pp. 469-482, julio 1987.

Schneider y Sheridan (1990) J.L. Schneider y T.B. Sheridan, "An Automated Tactile Sensing Strategy for Planar Object Recognition and Localization", *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell.*, Vol. 12 No. 8. August 1990.

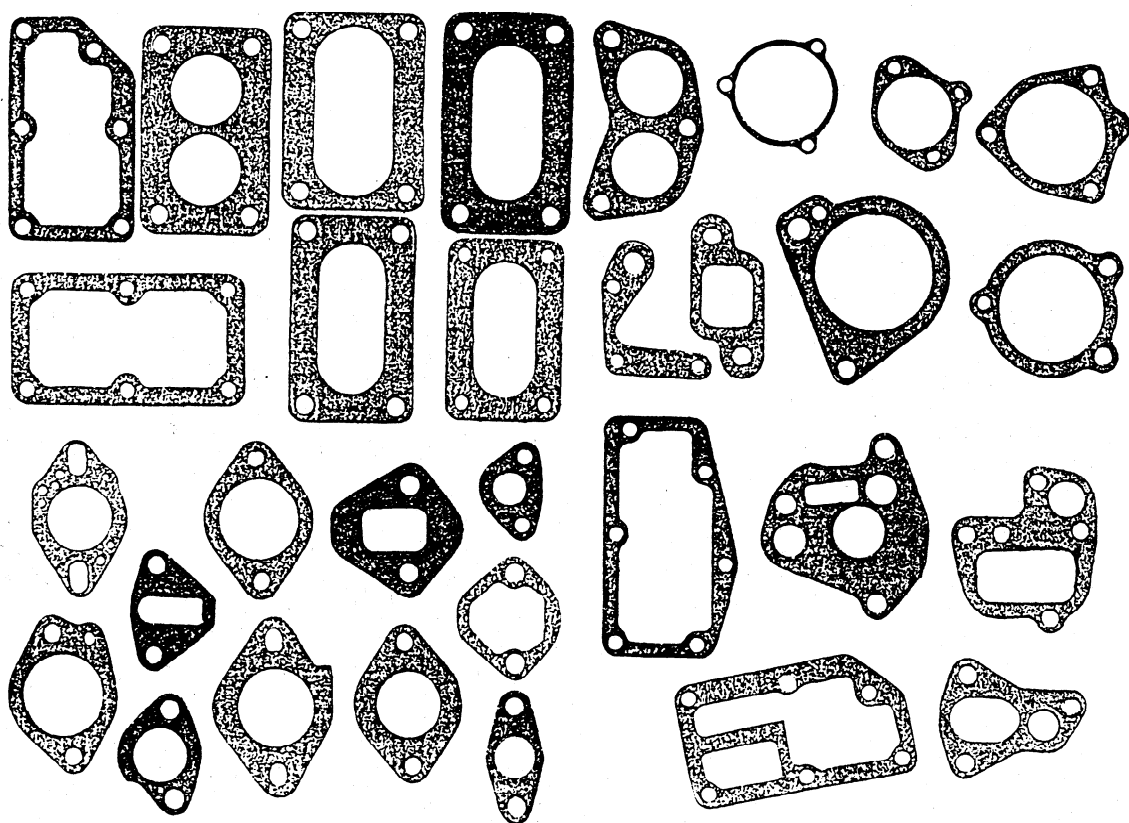


Figura 4. Conjunto de 31 juntas a reconocer.

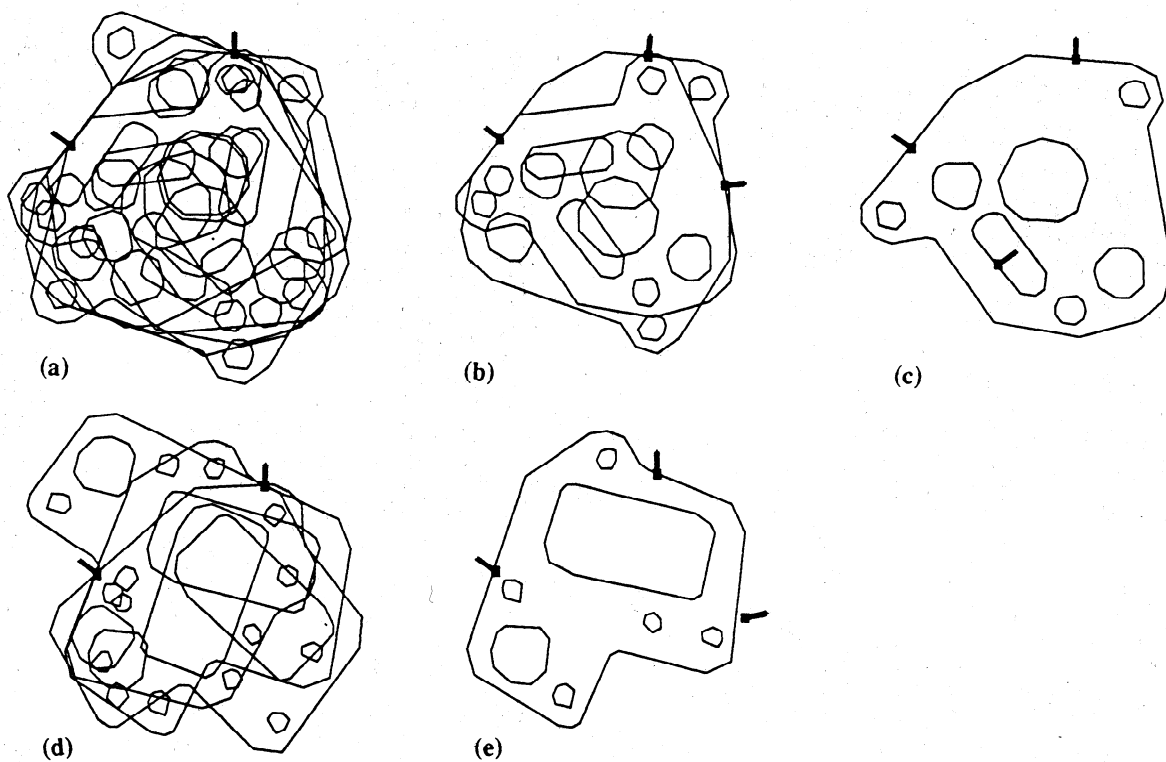


Figura 5. Ajuste de tres datos del contorno a dos modelos de juntas distintos.