

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**

*Departament d'Enginyeria de Sistemes Automàtica i Informàtica Industrial*

**APORTACIÓ A LA DESCRIPCIÓ I  
SEGUIMENT DE CAMINS  
NAVEGABLES EN ENTORNS  
NATURALS A PARTIR DE L'ANÀLISI  
DE REGIONS EN SEQÜÈNCIES  
D'IMATGES**

Autor: Josep Fernández Ruzafa

Director: Alícia Casals Gelpí

Barcelona, febrer del 1998

## **7. Conclusions**

### **7.1. Originalitat del Treball i Aportacions Realitzades**

L'objectiu principal que ens havíem fixat al iniciar aquest projecte de recerca era la definició d'una metodologia per a la descripció de camins mal o feblement estructurats orientada a un sistema de navegació autònom. Com objectiu secundari, ens havíem fixat generar la descripció d'aquest tipus de camí, utilitzant un sistema sensorial i computacional tant simple com fos possible, tractant d'obtenir la màxima fiabilitat del sistema.

L'assoliment d'aquests objectius passa necessàriament per l'estudi i l'anàlisi d'aquests tipus d'entorns i de la informació que ha de contenir una descripció d'un camí mal o feblement estructurat per navegar-hi de forma autònoma.

La metodologia proposada permet obtenir una descripció d'un camí mal o feblement estructurat, en la qual s'indica quines zones de l'entorn són travessables (camí) i quines són no travessables (marge del camí) utilitzant una càmera color i els sensors odomètrics. La complexitat del sistema computacional necessari per processar la informació sensorial i generar la descripció de l'entorn, dependrà de la velocitat dels processadors utilitzats i de la velocitat màxima desitjada del vehicle.

Per completar la informació de la descripció de l'entorn, cal detectar els possibles obstacles presents a l'interior del camí. La utilització de la visió per ordinador per a la detecció d'obstacles té com limitació que només pot trobar els obstacles positius (que sobresurten de la superfície del camí) sempre que aquest sigui distingible a la imatge. En aquest treball, s'ha definit una tècnica per a la detecció d'obstacles que permet detectar els obstacles presents a l'interior del camí, amb les limitacions indicades anteriorment. La tècnica de detecció d'obstacles proposada, requereix d'una càmera color com únic sensor i d'un temps de procés curt.

Per la detecció de tot tipus d'obstacles, ja sigui positiu o negatiu (com són els forats i les rases) cal utilitzar un segon sensor, tal com s'ha apuntat a la secció 5.2.1, que subministri una informació complementaria a la del sistema de visió.

La correctesa de la descripció de l'entorn generada queda avalada per la integració de la informació de la seqüència d'imatges i per la utilització de les restriccions que formen el model genèric de camí transitable.

Aquest treball de recerca suposa una contribució en el camp de la navegació autònoma de vehicles en camins mal o feblement estructurats mitjançant visió per ordinador. Aquest és un camp de recerca incipient, ja que no es té constància del disseny i implementació d'altres sistemes orientats a la navegació en aquest tipus d'entorn que considerin les situacions més complexes que ens poden trobar en aquest tipus d'entorn (camins formats per varies matèries, i gran canvis de la il·luminació de l'escena). Així mateix, la metodologia proposada, a diferència dels altres sistemes que han de navegar en entorns exteriors, permet generar la descripció de l'entorn, amb les limitacions en la detecció d'obstacles presentades anteriorment, utilitzant un conjunt de sensors relativament simple, com són els sensors odomètrics i una única càmera color.

Durant la realització d'aquesta tesi, s'han analitzat diferents alternatives que porten a la solució del problema de la descripció d'aquest tipus d'entorn. Les solucions triades estan en la direcció de minimitzar el cost del sistema, reduir el temps de procés (i així permetre al vehicle desplaçar-se, dintre de les possibilitats, a major velocitat), tot garantint, la fiabilitat de la solució triada.

Les principals aportacions, resultat de la realització d'aquesta tesi són:

- Definició d'un nou espai de representació de la informació color a partir de l'espai HSI, l'espai H/I, que permet representar i analitzar imatges captades en entorns naturals de forma eficient (*capítol 4*). En l'espai H/I, es tria per a cada pixel de la imatge el valor que resulta més estable i discriminador -i per tant més adequat per a la segmentació- entre el Hue i la Intensitat. La resolució coloromètrica de l'espai H/I és intencionadament petita, ja que el nombre de colors a considerar per segmentar una imatge captada en un entorn natural no ha de ser necessàriament elevat. D'aquesta forma, podem representar la informació color utilitzant un byte per pixel, el que implica un estalvi temps i espai per representar i processar les imatges H/I respecte els altres espai de representació del color. La transformació de l'espai RGB, en que les càmeres color subministren les imatges, a l'espai H/I pot ser realitzada a la freqüència fixada pel senyal de vídeo ("*video rate*") utilitzant un "*hardware*" dedicat.
- Desenvolupament d'una nova tècnica per a la detecció d'obstacles, que hem anomenat hipòtesi i test, que permet diferenciar entre les àrees travessables i no

travessables, a partir de l'anàlisi de l'evolució de la mida de les regions d'una seqüència d'imatges (*capítol 5*). La tècnica d'hipòtesi i test permet calcular de forma molt ràpida una estimació de l'alçada aproximada de l'objecte associat a una regió donada d'una seqüència d'imatges. La determinació de l'alçada dels objectes es realitza en dos passos, un primer on es defineixen un conjunt d'hipòtesis respecte l'alçada de l'objecte i un segon en que s'analitza quines de les hipòtesis inicials s'ajusta més a la realitat. L'error comès en l'estimació de l'alçada està molt lligat al nombre d'hipòtesis que es defineixen. Per a l'aplicació d'aquesta tècnica s'assumeix que es coneix el desplaçament relatiu entre càmera i objecte i les característiques del sistema d'adquisició d'imatges. Aquesta tècnica pot ser utilitzada fent servir qualsevol tipus d'imatge segmentada (segmentació en regions o contorns basada en l'anàlisi d'una imatge monocroma, color, textura, d'infraroig, etc.), a condició que l'objecte del que es vol calcular l'alçada sigui distingible a la imatge.

Així mateix per al desenvolupament d'aquesta metodologia ha estat necessari fer un conjunt de treball que presenten un gran interès, com són:

- Estudi de quina és la informació necessària per a la navegació autònoma en entorns naturals feblement estructurats, i dels diferents sistemes sensorials que ens poden subministrar aquesta informació (*capítol 3*). S'ha avaluat els avantatges i inconvenients de la utilització de diferents tipus d'informació sensorial com ara, imatges monocromàtiques, color o textura, sensors ultrasònics o sistemes de mesura de distàncies basat en llum làser. Com a conclusió podem anotar que la visió per ordinador resulta el sensor més adequat per detectar la posició del camí a l'entorn, i la característica color resulta la més discriminadora i fiable a la hora de segmentar la part transitable de l'entorn (el camí) d'aquelles que no ho són (els marges del camí). Això és degut principalment a que el color és una propietat intrínseca dels objectes, que la característica color, ben utilitzada, presenta un comportament força independent de les condicions d'il·luminació, i que la informació color és directament subministrada per les càmeres de vídeo.
- Adaptació de la tècnica de segmentació de creixement de regions per a l'anàlisi d'imatges provinents d'escenes naturals, utilitzant el color com a característica (*capítol 4*). Les imatges captades en una escena natural o entorn exterior, acostumen a ser complexes, ja que la il·luminació de l'escena no és homogènia i encara que només hi hagi un nombre petit d'objectes d'interès, el fons de la imatge està format per una gran quantitat d'objectes. Partint d'aquestes

consideracions, s'ha adaptat un algorisme de segmentació clàssic (el de creixement de regions) que utilitzant la imatge H/I, genera una segmentació de l'escena en un nombre reduït de regions, tot eliminant les regions petites que es consideren no tenen importància a l'hora de descriure l'escena. Altres informacions que s'utilitzen per segmentar la imatge estan molt lligades al problema que es vol resoldre i al coneixement que es té de l'escena, com són els colors de les matèries que formen el camí, els anomenats colors-camí, i la posició esperada del camí a la imatge (selecció de les llavors utilitzades durant el procés de creixement de regions). La segmentació obtinguda aplicant aquesta tècnica resulta una primera aproximació a la descripció de l'entorn.

- Adaptació d'un model per a la descripció del món basat en matrius, per a la descripció d'un entorn mal o feblement estructurat, orientat a la navegació de vehicles autònoms. La selecció del tipus de tècnica utilitzada i la seva adaptació al problema considerat, s'han realitzat buscant un compromís entre l'eficiència i el cost del mètode proposat (*capítol 5*). La descripció de l'entorn es fa utilitzant una matriu on en cada casella s'indica si una àrea de dimensions  $N \times M$  centímetres del món és travessable (és camí) o és no travessable (és marge o obstacle). La descripció de l'entorn es genera a partir de la seqüència d'imatges segmentades i els obstacles detectats a l'interior del camí. Durant la generació de la descripció es verifica que el camí detectat en les imatges satisfaci les restriccions incloses en un model genèric de camí de muntanya i que la posició del camí i els obstacles al món sigui coherent al llarg de la seqüència d'imatges.

## **7.2. Línies Futures de Recerca**

El treball de recerca que es presenta en aquesta memòria no és el punt final, sinó una feina que fixa la base per continuar aprofundint en les possibles solucions al problema de la navegació autònoma en entorns feblement estructurats. Entre els treballs que resten a realitzar en aquesta direcció, volem destacar els següents:

- Tot sistema de navegació compta de tres mòduls bàsics: sensorial, descripció, i planificació i control. Per tant, per completar la metodologia de navegació autònoma en camins mal o feblement estructurats, cal definir una estratègia de planificació i control adequada per aquest tipus d'entorn i integrar-lo amb els mòduls presentats en aquesta memòria. D'aquesta forma, es podria avaluar en condicions reals i en "anell tancat" el comportament d'un sistema de

navegació autònom que utilitzi la metodologia per a la descripció d'entorns mal o feblement estructurats presentada en aquesta memòria.

- Completar la tècnica de detecció d'obstacles per aconseguir la detecció d'obstacles mòbils, d'obstacles negatius i d'obstacles penjants. Una vegada sigui assolit aquest objectiu, el sistema de detecció d'obstacles complementari al basat en visió per ordinador, que ha de permetre detectar els obstacles omesos per la visió, podria passar a ser un sensor basat en mesura de distàncies per ultrasons.
- Una de les condicions que ha de satisfer un sistema de navegació per ser operatiu, és que el temps de procés s'adeqüi a la velocitat del vehicle. La metodologia per a la descripció i seguiment de camins mal o feblement estructurats proposada, ha estat dissenyada per anar del nivell més baix, la imatge, al nivell superior, la descripció. Seria d'interès avaluar si el cost computacional necessari per obtenir la descripció és inferior si el processat dels nivells inferior es fa tenint en compte les característiques dels nivells superiors (com ara la resolució de la descripció de l'entorn).

### **7.3. Publicacions en Congressos Relacionades amb aquesta Tesi.**

*"Estabilización Activa de Vibraciones de un Manipulador mediante Seguimiento de Objetos por Segmentación Cromática"*

Fernández J. i Frau J.

Com. 2º Congreso de la Asociación Española de Robótica 1991. pp 285-292.

Zaragoza-Espanya, 13-15 de novembre de 1991.

*"High-Speed Tracking of Object Corners from Image Sequences"*

Oliver G., Casas S., Frau J., Planas R. i Fernández J.

Proc. International Conference on Advanced Mechatronics 1993. pp 244-248.

Tokyo-Japó, 2-4 d'agost de 1993.

*"Identificación y Localización de Objetos mediante Segmentación Cromática"*

Fernández J., Oliver G. i Frau J.

Com. 3er Congreso de la Asociación Española de Robótica 1993. pp 99-105.

Zaragoza-Espanya, 17-19 de novembre de 1993.

*"Color Image Segmentation for Autonomous Land Vehicle Road Following"*

Fernández J. i Frau J.

Proc. European Robotics and Intelligent Systems Conference 1994. pp 517-525.

Málaga-Espanya, 22-25 d'agost de 1994.

*"Visual Guidance of an Autonomous Vehicle in Natural Environments Based on Reflexive Control"*

Fernández J., Martínez A.B. i Frau J.

Proc. Intelligent Vehicle Symposium 1994. pp 103-108.

París-França, 24-26 d'octubre de 1994.

*"Sistema de Guiado entre Obstáculos de un Robot Autónomo mediante Visión"*

Frigola M. i Fernández J.

XVI Jornades de Automàtica. Grupo de Visión Artificial 1995. pp 93-98.

Sant Sebastià-Espanya, 27-29 de setembre de 1995.

*"Aportació a la Detecció de Camins Navegables en Entorns Naturals a partir de l'Anàlisi de Regions en Seqüència d'Imatges"*

Fernández J.

1er Seminari de Treball en Automàtica, Robòtica i Percepció. pp 187-196.

Barcelona-Espanya, 21-23 de febrer de 1996.

*"A Color Image Segmentation Technique for Outdoor Scene"*

Fernández J. i Casals A.

Com. VII Simposium Nacional de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imagenes 1997. Vol. 2. pp 116-118.

Bellaterra-Espanya, 21-25 d'abril de 1997.

*"Autonomous Navigation in Ill-Structured Outdoor Environments"*

Fernández J. i Casals A.

10th International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 1997. Vol.1. pp 395-400.

Grenoble-França, 8-12 de setembre de 1997.

*"Obstacle Detection from Motion using an Hypothesis and Test Approach"*

Fernández J. i Casals A.

5th International Conference on Intelligent Autonomus Systems (IAS-5) 1998.

Saporo-Japó, 1-4 de juny de 1998. (Pendent de publicació).