

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

1. El Problema de la Navegació Autònoma

La capacitat de desplaçar-se per l'espai és una de les característiques bàsiques dels éssers més evolucionats. Al llarg de tota la història de la humanitat, els éssers humans hem tingut la necessitat de desplaçar-nos per obtenir i transportar els aliments i els objectes més bàsics de la nostra vida quotidiana. Des de les èpoques més antigues, els homes hem recorregut a la utilització d'animals i enginys mecànics per facilitar el desplaçament de persones i el transport dels aliments i bens. El grau de desenvolupament i complexitat de la societat actual no hauria estat possible sense les invencions de la roda, les barques i els vaixells, els carros, el tren, el cotxe o l'avió. Tots aquests sistemes faciliten el transport (en confort, temps, capacitat, etc.) però la majoria d'ells, requereixen d'un home per la seva conducció. Per tant no resulta sorprenent que aprofitant l'evolució tecnològica del segle XX, s'estigui treballant intensament en el desenvolupament de sistemes de transport autònom, és a dir, sense la necessitat d'una persona per a la seva conducció.

Malgrat l'important interès comercial dels sistemes de navegació autònoms i els esforços realitzats per la indústria i la comunitat científica, encara s'està molt lluny d'obtenir un sistema per a la navegació amb característiques semblants a la dels éssers humans. Només hem estat capaços de desenvolupar sistemes de conducció automàtics en sistemes de locomoció on el vehicle només pot seguir una trajectòria fixe amb possible bifurcacions -com són els trens i metros automàtics sense conductor-; sistemes d'ajut a la conducció -com són el pilot automàtic dels avions o vaixells- que reemplacen les accions que han de realitzar els humans en situacions i moments molt concrets; o sistemes de navegació assistida per a cotxes, que mitjançant GPS i bases de dades de la xarxa viària, donen informació al conductor del cotxe de quin camí pot seguir per arribar al destí indicat, o permeten controlar certs paràmetres de la conducció com pot ser la velocitat. Els sistemes més avançats permeten mantenir el vehicle en un determinat carril marcat i fins i tot fer algun avançament.

1.1. La Navegació en Vehicles Autònoms

La robòtica té, i la incrementarà en un futur pròxim, una gran importància, ja que permet substituir a l'home a l'hora de realitzar un bon nombre de tasques manuals. La necessitat de fer arribar un robot al lloc desitjat on ha de realitzar la seva tasca, fa que el guiatge de vehicles autònoms i robots mòbils sigui un camp d'investigació molt

actiu des de finals dels anys 70. El guiatge de vehicles requereix de la localització de les zones transitables en l'entorn i de la definició d'una trajectòria segura, que haurà de seguir el mòbil. Aquest procés no es pot realitzar sense disposar d'informació de l'entorn, que en els vehicles autònoms i robots mòbils és subministrada pels sensors.

Els tipus de sensors, la complexitat dels algorismes de navegació i els recursos computacionals utilitzats per realitzar el guiatge, depenen bàsicament de les característiques de l'entorn en el que s'ha de desplaçar el mòbil (estructurats, feblement estructurats o no estructurats), de la informació que a priori es coneix de l'entorn (disponibilitat d'un mapa inicial de l'entorn o d'algunes de les seves característiques), de la tasca que ha de realitzar (conducció automàtica, transport, neteja, exploració planetària o submarina, extinció d'incendis, etc.) i de les característiques del mòbil (sistema de locomoció -rodes, cames, erugues, submarins-, velocitat màxima, dimensions i pes, etc.). En qualsevol cas, s'ha de construir i/o actualitzar un model de l'entorn, més o menys detallat, a partir de la informació subministrada pels sensors que permeti localitzar les àrees transitables, detectar els obstacles i determinar una trajectòria segura.

La problemàtica és tan diversa, que avui en dia es troben una gran quantitat d'enfocaments per resoldre el problema del guiatge de mòbils, on cada un d'ells està orientat a treballar en unes condicions determinades. Les solucions proposades fins avui, es poden classificar en les següents categories, segons el tipus d'entorn per on s'ha desplaçar el mòbil:

- *Guiatge en entorns interiors.* En aquest cas, la navegació requereix de la localització de les zones transitables, com són els corredors dels edificis o plantes industrials, que es pot realitzar utilitzant sensors ultrasònics o sistemes de visió relativament simples. El fet que l'espai on s'ha de desplaçar el mòbil és limitat permet situar referències a l'entorn amb l'objectiu de simplificar la localització del mòbil i la navegació, ja que es disposa d'informació addicional per la supervisió del recorregut i l'eliminació dels errors de posicionament. Els sistemes de navegació utilitzant balises o els de ruta fixa (filoguiat o optoguiat) en són exemples.
- *Guiatge en entorns exteriors estructurats.* Aquests sistemes es basen en el seguiment de vies, on la via és una estructura ben definida per permetre i facilitar al màxim la circulació de vehicles pilotats, com és el cas de la xarxa viària (carrers, carreteres i autopistes). Els principals problemes en aquest tipus d'entorn es presenten per les condicions molt diverses i variables d'il·luminació (ombres, reflexes especulars, nivell de llum no uniforme en tota l'escena), el fet

que la superfície de les carreteres no sempre és uniforme, així com la presència d'obstacles, com ara altres vehicles.

- *Guiatge en entorns exteriors no estructurats.* En aquest cas, l'entorn no ha estat transformat per l'home per facilitar la navegació. Per tant no existeix en l'entorn un camí preestablert a seguir, sinó que aquest s'ha de determinar a partir de l'anàlisi detallat de l'entorn que ens ha de permetre localitzar les zones transitables, entre els desnivells del terreny i la gran quantitat d'obstacles que poden aparèixer. La resolució del problema de la navegació requereix una gran quantitat de recursos sensorials i computacionals, ja que és necessari construir un model 3D detallat de l'entorn per a la planificació d'una trajectòria que permeti al mòbil travessar terrenys amb possibles desnivells. Els vehicles tot terreny o d'exploració planetària són exemples de sistemes d'aquesta categoria. Aquests sistemes requereixen un processat complex i llarg temps de càlcul, i conseqüentment, són sistemes lents i d'alt cost.

Independentment del tipus d'entorn, un dels sensors que per la gran quantitat d'informació que subministra, ofereix una gran flexibilitat tant a l'hora de navegar autònomament, com per realitzar la tasca que té encomanada el robot o vehicle mòbil és la visió. Els principals avantatges que ofereix la visió per ordinador com sensor en un sistema de navegació autònom, són que és un sensor remot, passiu, que pot observar en una única imatge una ampla zona del seu entorn i que permet fer ús de les referències artificials que es col·loquen en les vies per facilitar la conducció als humans. Tots els sistemes de navegació autònoma basada en la visió per ordinador com sensor per percebre l'entorn, han de realitzar unes tasques bàsiques (figura 1.1), com són: anàlisi de la imatge, descripció de l'entorn, planificació de la trajectòria i control del moviment.

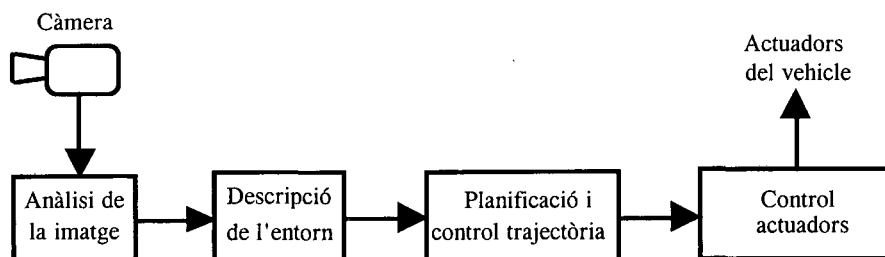


Figura 1.1. Estructura d'un sistema de navegació autònom basat en visió per ordinador.

1.2. Objectius i Descripció de la Tesi

L'objectiu d'aquesta tesi doctoral és proposar una metodologia per a la descripció i seguiment de camins mal o feblement estructurats en entorns naturals a partir de l'anàlisi de regions en seqüències d'imatges, com és el cas dels camins de muntanya, camins agrícoles, camins veïnals o les pistes forestals, orientada a la navegació autònoma en aquest tipus de vies.

Podem definir un camí mal o feblement estructurat com un espai natural transformat per l'home, sense pavimentar, amb la finalitat de facilitar la circulació de vehicles i persones. Per les seves característiques, la superfície del camí és irregular, pot estar formada per diferents matèries (herbes, terra, pedres, fulles caigudes dels arbres, tolls d'aigua, etc.), el marge del camí està format, en part, per les mateixes matèries que el camí, i no existeixen referències artificials per indicar els límits del camí o les seves característiques. Tot això fa que la determinació dels límits del camí sigui poc definida i, fins i tot, ambigua. A la figura 1.2 es mostren nou exemples de camins mal o feblement estructurats. Donades les característiques dels entorns feblement estructurats, la complexitat d'aquests es situa entre la dels entorns exteriors estructurats i la dels no estructurats.

Algunes de les aplicacions on seria d'interès el sistema proposat són l'agricultura, els serveis d'extinció d'incendis en entorns forestals, l'enginyeria civil o la mineria.

Hi ha una tendència actualment en el disseny i desenvolupament de sistemes de navegació autònoma, a fer servir recursos sensorials i computacionals complexes, amb l'esperança d'obtenir millors resultats. Són pocs els grups de treball que es plantegen quin són els sensors estrictament necessaris, fixades unes condicions de treball, que ens permeten navegar de forma autònoma. Nosaltres ens proposem establir un mètode de navegació utilitzant un sistema sensorial tant simple com sigui possible, partint d'unes restriccions pre-establertes, i tractant d'obtenir la màxima fiabilitat i robustesa del sistema.

És en aquesta direcció que realitzarem un estudi sobre les característiques comuns als entorns en que ens proposem navegar, per així, determinar quina informació és necessària per a la realització eficient de la navegació autònoma en camins de muntanya. Aquest estudi ens ha d'indicar quin pot ser un conjunt reduït de sensors que subministri la informació necessària per determinar les zones transitables, i els

mètodes que, a partir de la informació sensorial, permeten obtenir de la forma més eficient possible la descripció de l'entorn necessària per navegar.



Figura 1.2. Nou exemples de camins mal o feblement estructurats.

Com ja s'ha indicat anteriorment, les principals tasques que ha de realitzar un sistema de navegació autònoma són la captació de l'estat de l'entorn mitjançant els sensors, l'anàlisi de la informació sensorial, la descripció de l'entorn, la planificació de la trajectòria i el control dels actuadors. El treball d'investigació que es presenta no pretén únicament aprofundir en un únic aspecte d'una d'aquestes tasques, sinó que es centra en les tres primeres tasques, és a dir, es comença amb l'estudi de les característiques del sistema sensorial necessari per navegar de forma autònoma en un camí mal o feblement estructurat, i a partir de l'anàlisi de la informació subministrada

pels sensors, es genera una descripció del camí, apte per ser utilitzada per diferents estratègies de planificació i tècniques de control.

Com es veura en els pròxims capítols, l'obtenció d'una descripció de l'entorn implica la realització d'un nombre considerable de processos, com són la definició dels sensors necessaris, el preprocessament i la segmentació d'imatges, la detecció d'obstacles, la localització en l'entorn dels elements presents en les imatges i la integració de la informació present en una seqüència d'imatges.

Aquesta memòria segueix gairebé l'ordre amb el qual s'ha desenvolupat aquest projecte d'investigació. En el segon capítol es fa una revisió bibliogràfica dels treballs més rellevants que s'han desenvolupat en el camp de la navegació autònoma, i dels resultats que se n'han obtingut. Els conceptes i restriccions a tenir en compte a l'hora de dissenyar un sistema de navegació autònom, així com les idees bàsiques del mètode de descripció d'entorns feblement estructurats proposat, formen el tercer capítol. El desenvolupament de la solució proposada es realitza al quart (segmentació de la imatge tenint en compte les característiques del camí que es segueix) i cinquè capítol (anàlisi de la seqüència d'imatges per a la detecció d'obstacles i per a la generació d'una descripció de l'entorn vàlida per navegar de forma autònoma). El sisè capítol es dedica a identificar les diferents fonts que produeixen errors en la descripció de l'entorn generada i a l'avaluació del mètode presentat. En el setè capítol es presenten els futurs treballs que caldria realitzar per completar el sistema de navegació autònom, les aportacions fruit de la realització d'aquesta tesi i finalment, les publicacions que tenen com a origen el projecte de recerca realitzat.

Finalment s'inclouen les referències bibliogràfiques que s'esmenten en aquest document, així com altres publicacions que han estat de gran interès en el desenvolupament de la tesi i tres annexos que completen les idees presentades en aquesta memòria.