UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA DE COMPUTADORES Y AUTOMÁTICA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Código TFG: [Código TFG]

[Desarrollo de sistemas de control cooperativos para USVs en tareas de bioinspección]

[Cooperative Control Systems for USVs in Bio-surveillance tasks]

[Ulises Alejandro Ardizzi Rodríguez]

Supervisor/es: [Nombre del/os supervisores]

Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones
Curso académico 20[XX-XX]

Convocatoria XXXX

Autorización de difusión

Apellidos, Nombre

Madrid, a XX de XX de XX

Los abajo firmantes, matriculados en el Grado de XX de la Facultad de XX, autorizan a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Grado: "Título", realizado durante el curso académico XX-XX bajo la dirección de XX y la co-dirección de XX en el Departamento de XX, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

"Dedicatoria, si es necesaria."

Edward Tufte

Agradecimientos

Agradecimientos, si son necesarios.

Índice general

Índice de figuras

[Título extendido del TFG (si procede)]

Resumen

Breve resumen de contenidos.

Palabras clave:

Separadas, por, comas.

Abstract

Key works:

[Nota: el título extendido (si procede), el resumen y abstract deben estar en una misma página y su extensión no debe superar la página. Tamaño mínimo 11 pto. Extensión máxima 50 páginas sin contar portada ni resumen (sí se incluye índice, introducción, conclusiones y bibliografía)]

Capítulo 1

Introducción.

Aca me falta la motivación y definir las curvas de nivel con las figuras de ejemplos en prácticos reales (no se si esto ultimo sea mejor abajo del diagrama de flujo o justo antes de introducir el problema acá), se que esta parte va sin secciones, pero es para mas o menos guiarme (3-4 paginas este capitulo).

Actualmente los sistemas roboticos representan una ventaja al otorgar un mayor rango de acción, flexibilidad y operar en situaciones riesgosas.

Un robot realmente no posee una definición precisa y universal dado que existe bastante discrepancia entre los expertos. Por lo tanto, podrían considerarse como un sistema autónomo y programable capaz de realizar tareas. Además, están dotados por la integración de tres capacidades claves:

1. **Sensores** para reunir datos del entorno.
2. Necesidad de poder **tomar decisiones** para convertir dichos datos en acciones.
3. Al ya tener definida su labor deben extenderlas al mundo real a través de sus efectores finales y/o actuadores.

Si juntas dichos aspectos con el comportamiento de los organismos sociales, en donde los individuos no han de tener un alto conocimiento para producir un comportamiento colectivo complejo, ni existir un líder que guía al resto para completar un objetivo, como en los bancos de peces, un panal de abejas o una bandada de pájaros, se tiene la **robótica de enjambre**.

En contraposición de tener un único robot realizando una labor compleja se tiene la robótica de enjambre, en la que varios individuos simples forma un comportamiento colectivo para realizar la misma tarea. Las características principales con las que se pueden definir los enjambres son:

1. El número optimo de agentes varia en función de la tarea asignada pudiendo ir desde tan pocos como una simple pareja hasta miles de unidades.

2. Presenta gran **diversidad**, es decir, en ocasiones se mezclan robots simples o complejos, sistemas tripulados o no tripulados, e incluso con dominio cruzado.

3. Para poder diferenciarlos de los sistemas multi-robots, en el que cada robot individualmente tiene una tarea asignada de antemano, los de tipo enjambre han de tener un **comportamiento colectivo** que involucre colaboración entre los propios agentes y estos con su entorno.

4. Se necesita establecer una forma de comunicación entre los agentes para permitir el intercambio de información, esta puede ser implícita o explícita

5. El hecho de que se puede definir su modo de operar no implica que se controle a cada robot individualmente, es decir, cada uno ellos han de poseer un comportamiento **autónomo** y **descentralizado**.

Los **sistemas multiagentes**. como bien su nombre indica, se basan en un grupo de dos o más agentes que interaccionan entre si para lograr un objetivo común en un mismo entorno. Dicha comunicación puede darse entre vecinos sin necesidad de recurrir a una entidad central, es decir, cada uno de ellos va a poseer un comportamiento autónomo y aun así conocer la existencia del resto.

La información va a estar distribuida en cada uno de los agentes, en donde cada uno cumple un rol diferente. Además, se añade la posibilidad de fallo en cualquiera de ellos. Esto se traduce en un sistema mas eficaz, flexible y fiable.

1.1. Motivación.

Acá creo que tengo que buscar información relevante del tema y decir porque estoy haciendo este tfg.

1.2. Planteamiento del problema.

En base a todo lo descrito anteriormente se va a desarrollar a lo largo de los siguientes capítulos un sistema multiagente de tipo enjambre que sea capaz de estimar un gradiente a partir de 3 o más robots dispuestos en una formación circular y estos sean capaces de desplazarse a una zona de interés definido como un máximo de una determinada función.

En el capítulo dos se dará una idea general del problema global haciendo uso de un diagrama de bloques. Además, de describir brevemente diferentes aspectos necesarios para el desarrollo del problema. En el tercero se realiza la estimación previamente descrita. En el cuarto se da explica un algoritmo de control para que los agentes se coloquen de manera simetrica a lo largo del circulo. Finalmente, en el quinto y ultimo capítulo se dan los diferentes resultados obtenidos con la cooperación de ambos algoritmos.

Capítulo 2

Sistema de manera global

Aca habría que definir los consensus algorithms e introducciones generales a varios aspectos (no se si meter lo de abajo al inicio aca), tambien un diagrama de flujo del control+estimador (este capitulo y el siguiente osea el 2+3 me deberian llevar como 18-20 paginas, llevaría de momento 1 de indice + 3-4 introducción + 18-20 (en dos capitulos))

Capítulo 3

Estimación del gradiente

Acá la idea es describir el algoritmo con su desarrollo matemático para que no salga nada de la nada (mas o menos 10-12 paginas en este capitulo).

Sea una función $f(x)$ con $x \in \mathbb{R}^n$. Además de ser continua y derivable para todo n. Aplicando el desarrollo en serie de Taylor siendo n = 1.

$$f(x) = f(a) + f^{'}(a)(x-a) + \frac{1}{2!} \cdot f^{''}(a)(x-a)^2$$

Donde $f^{'}(a)$ y $f^{''}(a)$ se corresponden con la primera y segunda derivada de la función en torno a un punto cualquiera en el espacio "a", si en lugar de ello se hace con x_*, estando x lo suficientemente cerca de dicho punto.

$$f(x) = f(x_*) + f^{'}(x_*)(x-x_*) + \frac{1}{2!} \cdot f^{''}(x_*)(x-x_*)^2$$

Si $f^{'}(x_*) = 0$ se tiene un máximo, mínimo o un punto de inflexión, teniendo esto en cuenta y despejando de la ecuación anterior.

$$f(x) - f(x_*) = \frac{1}{2!} \cdot f''(x_*)(x - x_*)^2$$

Se dan diferentes situaciones:

- Si $f''(x_*) < 0 \rightarrow f(x) - f(x_*) < 0 \rightarrow f(x) < f(x_*) \rightarrow f(x_*)$ es un máximo.
- Si $f''(x_*) > 0 \rightarrow f(x) - f(x_*) > 0 \rightarrow f(x) > f(x_*) \rightarrow f(x_*)$ es un mínimo.
- Si $f''(x_*) = 0 \rightarrow f(x) - f(x_*) = 0 \rightarrow f(x) = f(x_*) \rightarrow f(x_*)$ es un punto de inflexión.

Si se hace el mismo desarrollo y se expande el dominio para $n \geq 2$, se obtiene:

$$f(x) = f(x_*) + \nabla f(x_*)^T (x - x_*) + \frac{1}{2!} \cdot (x - x_*)^T \cdot H(f(x_*)) \cdot (x - x_*)$$

Donde:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

$$H(f) = \nabla^2 f = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \cdot \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \cdot \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \cdot \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \cdot \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \cdot \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \cdot \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

En este caso lo que interesa es que el gradiente de la función sea 0, es decir, que "$\nabla f(x_*) = 0$". Por lo tanto, los casos particulares, previamente descritos, se re-definen y adoptan un significado similar.

$$f(x) - f(x_*) = \frac{1}{2!} \cdot H(f) \cdot (x - x_*)^2$$

- Si $H(f) < 0$ (definida negativa) $\rightarrow f(x) - f(x_*) < 0 \rightarrow f(x_*)$ es un máximo.
- Si $H(f) > 0$ (definida positiva) $\rightarrow f(x) - f(x_*) > 0 \rightarrow f(x_*)$ es un mínimo.
- Si $H(f) = 0$ es indefinida es un punto silla.

En caso de las funciones para dos o más dimensiones, la condición necesaria para ser optimo es estar semidefinido, es decir, si $\nabla f(x_*) = 0$ y $H(f)$ es semidefinida, se tiene:

- Es máximo si esta semidefinida negativa $\rightarrow y^T \cdot H(f) \cdot y \leq 0$
- Es mínimo si esta semidefinida positiva $\rightarrow y^T \cdot H(f) \cdot y \geq 0$

Se pretende describir un procedimiento para estimar el gradiente de una función "$\widehat{\nabla} f(c)$", basándose en mediciones locales de múltiples robots situados de manera simétrica en un espacio de 2D. En dicho procedimiento, se consideran N robots distribuidos uniformemente a lo largo de una formación circular con un radio D y un punto central c definido en dos dimensiones.

Partiendo de la ecuación (Ecuación de la expasion de Taylor del inicio, poner el numero), pero haciendo la expansión únicamente hasta el termino de primer orden sobre cada una de las medidas r_i pertenecientes a la función "$f(r_i)$".

$$f(r_i) - f(c) = \nabla f(c)^T (r_i - c) + \varphi_i(D, c)$$

Me quede aca, desde aca para abajo es sucio.

En donde $r_i =$ es la posición del robot i, $\boldsymbol{\phi_i = \frac{2\cdot\pi\cdot i}{N}}$ es el ángulo de rotación, R_ϕ es la matriz de rotación definida como $\begin{bmatrix} \boldsymbol{c_\phi} & \boldsymbol{-s_\phi} \\ \boldsymbol{s_\phi} & \boldsymbol{c_\phi} \end{bmatrix}$**,** finalmente $e = [1,0]^T$, por simplicidad no se considera la dinámica de los robots.

La señal está definida según una función cuadrática $\boldsymbol{\sigma(r\ ) = r^T \cdot S \cdot r + p^T \cdot r + q}$ si se tiene una formación de más de 4 robots se asume que la estimación es el gradiente de la función.

$$\phi_i = \phi_o + \frac{2\cdot\pi\cdot i}{N}$$

Con $\phi_o\,(t) = w_o \cdot t$la formación propuesta es adecuada para robots que se mueven en formación circular como vehículos aéreos no tripulados de área.

Problema en cuestión:

Se puede poner de tres formas:

Primera forma:

$$\hat{\nabla} f\,(c) := \frac{2}{D^2\cdot N} \cdot \sum_{i=1}^{N} f(r_i)\cdot(r_i - c)$$

Donde:

$$\hat{\nabla} f\,(c) = \nabla f\,(c) + \varphi\,(D, c)$$

Segunda forma:

$$\frac{2}{D^2\cdot N} \cdot \sum_{i=1}^{N} f(r_i)\cdot(r_i - c) = \nabla f\,(c) + \varphi\,(D, c)$$

Tercera forma:

$$\frac{2}{D^2 \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^{N} f(r_i) \cdot (r_i - c) = \underbrace{\nabla f\left(c\right) + \varphi\left(D, c\right)}_{:=\hat{\nabla} f(c)}$$

Se tiene una función $f\left(r\right)$, donde r definida en 2 dimensiones, que el gradiente en el punto máximo es 0 ($\nabla f\left(r^*\right) = 0$), pero en el punto del campo escalar será distinto de 0 $\left(\left(\nabla \sigma\left(r\right) \neq 0\right)\right.$, obviamente se ha de dar con "situaciones espaciales" diferentes lugares ($\forall r \neq r^*$) y finalmente el hessiano estará definido negativamente dado que es un máximo local, es decir, $H_{\sigma(r^*)} < -a \cdot I_p$ (con a > 0 e I_p es una matriz identidad perteneciente al espacio R^{pxp}.

Parrafos que me pueden servir en algun momento:

Se tienen dos casos $\left[A\right]_\alpha = A$ si $A \leq -\alpha \cdot I_p$ sino seria $\left[A\right]_\alpha = -I_p$, el primero de los casos se utilizará si el centro de formación c está muy alejado de la fuente así se evita que la matriz se defina como semipositiva y tienda a alejar a los robots del punto de interés, además, cuando dicho punto "c" está cerca de la fuente se asume entonces que $A < -\alpha \cdot I_p$

Capítulo 4

Coordinación

Acá la idea es explicar de manera breve el algoritmo de control de Hector, por ejemplo poner una figura del paper y decir que influiría en el calculo del gradiente estimado (mas o menos 5-6 paginas acá).

Capítulo 5

Conclusiones

Acá irían las gráficas de las simulaciones que estoy haciendo actualmente (llevaría de momento 1 de indice + 3-4 introducción + 18-20 (en dos capítulos), 6-8 el capitulo 4 y 6-8 el capitulo de conclusiones, mas la bibliográfica, darían en torno a 40-48).

Bibliografía

[1] *INA219 - DataSheet*. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf.

[2] *NodeMCU - Documentación*. https://nodemcu.readthedocs.io/en/dev/.

[3] *MQTT - Documentación*. http://mqtt.org/documentation.

[4] *Mosquitto - Broker*. http://mosquitto.org/.

[5] *Mosca - Broker*. https://github.com/mcollina/mosca.

[6] Node-Red. http://nodered.org/.

[7] I^2C - Module. https://nodemcu.readthedocs.io/en/dev/en/modules/i2c/.

[8] MQTT - Module. https://nodemcu.readthedocs.io/en/dev/en/modules/mqtt/.

[9] Emoncms - Dashboard. https://emoncms.org/.

[10] Freeboard - Dashboard. https://freeboard.io/.

Apéndice A

Introduction

A.1. Objectives

A.2. Technologies of the System

Apéndice B

Conclusions