

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

1. Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI)

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Técnicas de Control Avanzado ✓
2. Robótica y Mecatrónica

1 Proyecto de Investigación

Título:

Estudio y determinación de un algoritmo para la coordinación y control de agentes móviles aplicando técnicas de consenso ✓

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

El presente proyecto estudia la problemática de coordinación, control y formación de agentes móviles (líderes y seguidores). Típicamente, para la formación de grupos de sistemas de múltiples agentes se posee un líder que contiene toda la información para coordinación y control del grupo de agentes; y seguidores, los cuales que basados en la información de los líderes pueden desarrollar una determinada tarea en conjunto. Este enfoque basado en líder generalmente conlleva dos problemáticas: i) un problema de vulnerabilidad, pues la pérdida del líder representa el colapso del sistema, y ii) un problema de escalabilidad a formaciones más numerosas y complejas, debido a la limitación en cuando al número de agentes para la coordinación y formación. Sin embargo, la presencia de más líderes (agentes con información) y la aplicación de una arquitectura distribuida del controlador, permitirá no solamente tener un sistema más seguro, sino también formaciones más flexibles y escalables. El algoritmo de control que se va a determinar aprovechará la información que se puede obtener de la interacción de los agentes, es decir implícitamente todos los agentes podrán desarrollar tareas colaborativas en conjunto como seguimiento de trayectorias, decrementando o eliminando la vulnerabilidad e incrementando la escalabilidad del grupo de agentes. Los agentes alcanzarán un *consenso* cuando todos se encuentren ubicados en una localización específica en el grupo y puedan realizar una tarea en conjunto como el seguimiento de trayectorias por parte de una formación de agentes móviles. Se analizará y garantizará la estabilidad de los algoritmos.

Palabras clave (4-6): control de redes complejos, coordinación de agentes móviles, dinámica de ceros, teoría de grafos.



2	<p>Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación</p> <p>2.1 Objetivos</p> <p>2.1.1 Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none">• Estudiar y determinar un algoritmo para la coordinación y control de agentes móviles aplicando técnicas de consenso. <p>2.1.2 Objetivos Específicos</p> <ol style="list-style-type: none">a. Determinar el estado del arte de los algoritmos de consenso en sistemas de múltiples agentes, y las aplicaciones de los mismos en las áreas de robótica y control de procesos.b. Determinar la relación entre la dinámica local de los agentes del sistema y el comportamiento global basándose en la estructura de las interacciones de los agentes móviles, la misma que permitirá diseñar el algoritmo.c. Determinar un algoritmo para la coordinación y control de agentes móviles, el cual se base en el consenso entre el equipo de agentes móviles. <p>2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)</p> <ol style="list-style-type: none">a. Presentar una disertación a la comunidad politécnica donde se exponga los distintos algoritmos de consenso en sistemas de múltiples agentes, y sus posibles aplicaciones en las áreas de robótica y control de procesos.b. Al menos una publicación en revistas científicasc. Al menos una dirección de proyecto de titulación para la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica relacionado con los objetivos del proyecto.
3	<p>Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación</p>



Las líneas de investigación del DACI en las cuales este proyecto se enmarca son las siguientes: **Técnicas de Control Avanzado, Robótica y Mecatrónica**, puesto que está orientado a desarrollar investigación básica y aplicada, de las cuales se obtendrán resultados innovadores en las áreas de análisis, diseño, desarrollo de técnicas de control con aplicaciones en las áreas de robótica y procesos industriales.

Durante los últimos años tanto los sistemas robóticos, plantas industriales, y sistemas eléctricos han llegado a un grado de sofisticación en los que cada planta ya no es un agente/sistema aislado que necesita controlarse, sino más bien sistemas interconectados (sistemas de múltiples agentes, sistemas complejos, o redes). Estos relativamente nuevos sistemas requieren no solamente controladores a nivel local, sino también controladores de nivel global, los cuales consideren tanto las características de cada agente como la interacción entre ellos. El presente proyecto tiene como objetivo primordial determinar un algoritmo de control que permita la coordinación y control de los mencionados sistemas.

Con relación a la línea de investigación en el área de técnicas de control avanzado, la relevancia del presente proyecto radica en la determinación de nuevos algoritmos de control para sistemas de múltiples agentes. Estos nuevos algoritmos, o controladores, deben considerar: 1) el modelo de cada agente, o robot; y 2) la interdependencia de los agentes al trabajar en equipos, o en red.

Con relación a la línea de investigación en el área de robótica y mecatrónica, la relevancia del presente proyecto radica en la aplicación de estos algoritmos en la formación, seguimiento de trayectoria, y distribución de tareas entre los agentes móviles (robots móviles, manipuladores móviles, etc.), donde el algoritmo pueda ser fácilmente escalable sin necesidad de re-diseñarlo.

Es importante mencionar que uno de los problemas típicos en los sistemas de múltiples agentes es el fallo en cascada, el cual puede aislar ciertas partes del sistema y eventualmente dejarlo completamente fuera de funcionamiento. El análisis que se realizará no solo permitirá entender como las interacciones entre las plantas/sistemas influyen en el comportamiento global de la red, sino también como fallos aislados de las mismas pueden amplificarse en la red.

El impacto que puede generar esta investigación sobre los procesos industriales, sistemas robóticos, y sistemas eléctricos es importante debido a la creciente cyber- integración de los sistemas en grandes redes, o infraestructuras, nuevas tecnologías de mediciones, y las nuevas funcionalidades y sofisticación de estos sistemas. Específicamente, el algoritmo que se va a determinar permitirá utilizar equipos/grupos de robots/agentes para el transporte o manipulación de objetos que debido a su peso o dimensiones no pueden ser transportados/manipulados por un solo agente; este tipo de aplicaciones son típicas de ambientes industriales completamente automatizados. Al mismo tiempo, debido a la teoría que se desarrollará en esta investigación, la misma se convertirá en la base para la generación de nuevos algoritmos de control en aplicaciones industriales donde exista redes de sensores y tareas colaborativas. Además, permitirá al DACI no solo generar nueva tecnología sino proyectar a la Escuela Politécnica Nacional (EPN), como un referente de avance tecnológico y de innovación relacionado a sistemas complejos.

Por todo lo expuesto el presente proyecto tiene claramente una vinculación con las líneas de investigación del DACI, y con el medio externo, ya que busca cubrir una necesidad actual, para encontrar soluciones reales y tecnológicas.

Es importante recalcar que este proyecto está alineado al Objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir: "Establecer un sistema económico social, solidario y sostenible", bajo la política:

- Política 11.9. Promover el acceso a conocimientos y tecnologías y a su generación endógena como bienes públicos.



a. Publicaciones científicas (obligatorio);	<input checked="" type="checkbox"/>
b. Disertación a la Comunidad Politécnica;	<input checked="" type="checkbox"/>
c. Proyecto de Titulación;	<input checked="" type="checkbox"/>
d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);	<input type="checkbox"/>
e. Aplicación tecnológica construida o implementada;	<input type="checkbox"/>
f. Patente presentada;	<input type="checkbox"/>
g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	<input type="checkbox"/>

5	Descripción y metodología y diseño del proyecto
	<p>5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)</p> <ul style="list-style-type: none">Descripción <p>Control distribuido y cooperativo ha sido un área de investigación activa durante los últimas décadas debido a sus aplicaciones a nivel industrial, eléctrico y sistemas robóticos [1][2][3], enfocándose principalmente en el consenso, formación, control, distribución de recursos y tareas en sistemas de múltiples agentes ([4]-[10]).</p> <p>En típicos algoritmos para la formación, y control de sistemas de agentes móviles; se considera un líder en el equipo de agentes. El líder es el único que conoce tanto la trayectoria como la formación del equipo, lo cual hace que esta propuesta de control sea relativamente fácil de programar. Sin embargo, al existir un solo punto en el sistema que concentra toda la información, la pérdida o mal funcionamiento de este puede producir un fallo total del sistema. Otros problemas en este tipo de modelos son: la carencia de información entre los agentes que forman la red, y la falta de escalabilidad del algoritmo.</p> <p>Dentro de los controladores descentralizados, este proyecto se centra en los algoritmos de consenso, los cuales dirigen todos los estados de los agentes a un valor común. En la estabilización de la formación de los agentes con un centroide, el cual puede ser estático o dinámico, los agentes móviles alcanzan consenso para la formación deseada si cada uno de ellos se mueve a un punto específico relacionado con el centroide y los demás agentes, sin tener ninguna desviación. En un sistema de múltiples agentes móviles, no todos los agentes conocen la trayectoria del grupo, sin embargo un grupo de ellos tiene la información de la misma (líderes) y serán quienes guíen al grupo. Los demás agentes se convierten en seguidores y su objetivo es conseguir el consenso entre ellos y los líderes [6][8][9][10]. Este esquema tiene la ventaja de evitar un punto de concentración de la información y la flexibilidad en cuanto a la formación y la trayectoria de los agentes.</p> <p>Si bien los agentes móviles tienen la misma dinámica, se considera que estos interactúan entre ellos, lo cual establece una dinámica global. El objetivo es utilizar las interacciones, descritas a través de un grafo, para diseñar un algoritmo de control. El grafo, y sus respectivas matrices, asociado con las interacciones de los agentes (grafo de la red) determina la ubicación de los mismos dentro de la formación, la forma del controlador, e influye directamente en la estabilidad del sistema global.</p> <p>En base a lo anterior y para cumplir con los objetivos propuestos, primero se llevará a cabo una exhaustiva revisión de literatura para establecer el estado del arte de los algoritmos de consenso y sus aplicaciones en agentes móviles (robótica). Además, se llevará a cabo un estudio que relacione las matrices de adyacencia y Laplaciana del grafo de la red, con las estructuras dinámicas en la red de agentes móviles [11][12]. La determinación de estas relaciones permitirá conocer la interdependencia de la dinámica local de cada agente con la estabilidad y dinámica de todo el sistema con el propósito de aplicarlo en el algoritmo de formación, coordinación y control de agentes móviles. Estas relaciones también determinarán la vulnerabilidad del sistema y la seguridad del flujo de información en el mismo, así como también la escalabilidad del algoritmo diseñado. Finalmente, se establecerá el algoritmo de control para la formación de n agentes móviles.</p> <ul style="list-style-type: none">Metodología y diseño de la investigación



La metodología a utilizar para llevar a cabo los objetivos planteados responde a los lineamientos generales del método científico diferenciándose las siguientes fases.

Fase Teórica: Se estudiarán las distintas metodologías para la formación y seguimiento de trayectoria para sistemas robóticos como robots móviles o manipuladores móviles, se pondrá énfasis en las técnicas de control basadas en el consenso de redes. Además, se determinará la influencia de las estructuras internas y locales del sistema en el comportamiento global del mismo.

Fase de Diseño: Se desarrollarán o diseñarán los algoritmos de control para implementar las metodologías propuestas, de manera que se utilice las relaciones entre los distintos subsistemas, y agentes del equipo (red). Además, se comprobará que estos algoritmos efectivamente logren un *consenso* entre los agentes.

Fase de Simulación/Experimentación: Se simularán los algoritmos propuestos en la fase teórica sobre los modelos de las plantas a trabajar. Para ello se dispone de software de simulación MATLAB y SIMULINK (herramienta de MATLAB), donde se puede modelar, simular y analizar sistemas dinámicos. En esta fase también se realizarán ajustes en los algoritmos de ser necesario.

Fase de Validación: Se verificarán las propuestas teóricas realizadas por medio del análisis de los resultados de simulación obtenidos en la fase de Simulación/Experimentación y mediante comparación de estos resultados con otros obtenidos en la literatura.

- [1] McArthur, S. D., Davidson, E. M., Catterson, V. M., Dimeas, A. L., Hatziargyriou, N. D., Ponci, F., & Funabashi, T. (2007). Multi-agent systems for power engineering applications—Part I: Concepts, approaches, and technical challenges. *IEEE Transactions on Power systems*, 22(4), 1743-1752.
- [2] Martinoli, A. (1999). *Swarm intelligence in autonomous collective robotics: From tools to the analysis and synthesis of distributed control strategies* (Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne).
- [3] Scattolini, R. (2009). Architectures for distributed and hierarchical model predictive control—a review. *Journal of Process Control*, 19(5), 723-731.
- [4] Jadbabaie, A., Lin, J., & Morse, A. S. (2003). Coordination of groups of mobile autonomous agents using nearest neighbor rules. *IEEE Transactions on automatic control*, 48(6), 988-1001.
- [5] Ren, W., Beard, R. W., & Atkins, E. M. (2005, June). A survey of consensus problems in multi-agent coordination. In *Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005*. (pp. 1859-1864). IEEE.
- [6] Wen, G., Duan, Z., Yu, W., & Chen, G. (2013). Consensus of second-order multi-agent systems with delayed nonlinear dynamics and intermittent communications. *International Journal of Control*, 86(2), 322-331.
- [7] Zheng, Y., & Wang, L. (2012). Consensus of heterogeneous multi-agent systems without velocity measurements. *International Journal of Control*, 85(7), 906-914.
- [8] Wen, G., Peng, Z., Rahmani, A., & Yu, Y. (2014). Distributed leader-following consensus for second-order multi-agent systems with nonlinear inherent dynamics. *International Journal of Systems Science*, 45(9), 1892-1901
- [9] Ding, L., Han, Q. L., & Guo, G. (2013). Network-based leader-following consensus for distributed multi-agent systems. *Automatica*, 49(7), 2281-2286.
- [10] Preciado, V. M., Zargham, M., Anyioha, C., Jadbabaie, A., & Pappas, G. (2014). Optimal resource allocation for network protection: A geometric programming approach. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 1(1), 99-108.
- [11] Abad Torres, J., & Roy, S. (2014). Graph-theoretic characterisations of zeros for the input–output dynamics of complex network processes. *International Journal of Control*, 87(5), 940-950.
- [12] Abad Torres, J. A., & Roy, S. (2015). Graph-theoretic analysis of network input–output processes: Zero structure and its implications on remote feedback control. *Automatica*, 61, 73-79.

Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.



El tiempo de dedicación máximo será de acuerdo al tipo de proyecto:

<i>Proyecto</i>	<i>Director</i>	<i>Colaboradores</i>
<i>PII y PIS</i>	<i>16 HSS</i>	<i>8 HSS</i>
<i>PIJ y PIMI</i>	<i>20 HSS</i>	<i>10 HSS</i>

Nombre	Rol (director o colaborador)	Horas de dedicación	Departamento
Jackeline Abad Torres	Director	8HSS	DACI
Paulo Leica	Colaborador	4HSS	DACI
Danilo Chávez	Colaborador	4HSS	DACI

6.2 Infraestructura y equipos

Laboratorio de Control y Sistemas: ubicado en el segundo piso del edificio de eléctrica.

- Computadores de Escritorio.


6.3 Breve justificación del equipo requerido

Se va a trabajar a nivel de simulación, por lo cual el equipo requerido serian computadores disponibles den los laboratorios del DACI.

6.4 Fondos Adicionales

No existen fondos adicionales



7	Declaración del Director del Proyecto
	<p>Declaro que la presente propuesta es de mi autoría y de los colaboradores mencionados y que no ha sido presentada en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada solicitando el financiamiento total del proyecto.</p> <p> DIRECTOR DEL PROYECTO Nombre: Jackeline Abad Torres CC: 0502951403</p> <p>Quito, 22 de Febrero de 2017 (lugar y fecha)</p>

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO	
	<p>Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de Automatización y Control Industrial, en sesión del día 24 FEBRERO 2017 mediante resolución No. 03-09. Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.</p> <p> JEFE DEL DEPARTAMENTO Nombre: PAULO LEIZAOLA CC: 1714 829585</p> <p>Quito, 03 de MARZO de 2017 (lugar y fecha)</p>



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 Proyecto de Investigación Interno
 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO



Título del Proyecto: Estudio y determinación de un algoritmo para la coordinación y control de agentes móviles aplicando técnicas de consenso

		AÑO 1																																																								
Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12												
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4									
1	Planificación del proyecto, Fase General																																																									
2	Revisión Bibliográfica																																																									
3	Selección del modelo del agente móvil a usarse.																																																									
4	Análisis de los subsistemas (estructuras dinámicas) del sistema de múltiple agentes móviles.																																																									
5	Diseño del algoritmo de control																																																									
6	Analisis de estabilidad del controlador diseñado																																																									
7	Simulación de los agentes móviles y del algoritmo del control																																																									
8	Validación de los resultados																																																									
9	Preparación/desarrollo de proyecto de titulación de pregrado																																																									
10	Redacción de las publicaciones de los resultados obtenidos																																																									
11	Preparación de un perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación																																																									

Firma del Director del Proyecto
 Jackeline Abad Torres