

# Reengineering a strategy for engineering practice: C3Tec, a case study

Daniel Mera-Romo<sup>1</sup> , PhD, Alcides Alvear-Suárez<sup>1</sup> , MS, Miguel Goenaga-Jiménez<sup>1</sup> , PhD,  
Diego Aponte-Roa<sup>1</sup> , PhD

<sup>1</sup>Universidad Ana G. Méndez, Puerto Rico, merad1@uagm.edu, aalvear@uagm.edu, mgoenaga1@uagm.edu,  
aponted1@uagm.edu

***Abstract***—The Criollo Center for Science and Technology of the Caribbean (C3Tec), located in the urban center of Caguas, Puerto Rico, is a unique interactive learning-center in the Caribbean. However, due to the antiquity of some of the center's permanent exhibits, a collaborative agreement was established between the Center and the Universidad Ana G. Méndez (UAGM) to make improvements to the permanent exhibits by applying reengineering. This work in progress presents the exhibits and discusses the proposed updates. Preliminary results demonstrate the viability of the agreement.

***Index Terms***—Reengineering, Unity, STEAM, Multimodal Learning, Interactive Learning

# Reingeniería una estrategia para la práctica ingenieril: C3Tec, un estudio de caso

Daniel Mera-Romo<sup>1</sup> , PhD, Alcides Alvear-Suárez<sup>1</sup> , MS, Miguel Goenaga-Jiménez<sup>1</sup> , PhD,  
Diego Aponte-Roa<sup>1</sup> , PhD

<sup>1</sup>Universidad Ana G. Méndez, Puerto Rico, merad1@uagm.edu, aalvear@uagm.edu, mgoenaga1@uagm.edu, aponted1@uagm.edu

**Resumen**—El Centro Criollo de Ciencia y Tecnología del Caribe (C3Tec), localizado en el centro urbano de Caguas, Puerto Rico, es una alternativa de enseñanza interactiva único en el Caribe. Sin embargo, dado la antigüedad de algunas exhibiciones permanentes del centro, se estableció un acuerdo colaborativo entre el Centro y la Universidad Ana G. Méndez (UAGM) con el objetivo de realizar actualizaciones y mejoras a las exhibiciones permanentes aplicando reingeniería. Este trabajo en progreso describe las exhibiciones a trabajar y se discuten las actualizaciones propuestas. Los resultados preliminares demuestran la viabilidad del acuerdo.

**Palabras clave**—Reingeniería, Unity, STEAM, Aprendizaje multimodal, Aprendizaje Interactivo.

## I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad, la reingeniería educativa se presenta como una estrategia clave para abordar los desafíos que enfrenta el sistema educativo en todo el mundo; dicha estrategia es fundamental para adaptar la educación a las necesidades y expectativas actuales de los estudiantes, docentes y otras personas involucradas en el proceso educativo [1]. Además, la reingeniería es esencial para fomentar la innovación y poner en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad y proponer soluciones a problemas de la vida real [2].

C3Tec es un espacio interactivo único en el Caribe dedicado en explorar, descubrir y disfrutar las maravillas de la tecnología moderna a través de exhibiciones interactivas, cine-teatro de formato gigante, salones de conferencia y eventos especiales, con el objetivo de promover la conciencia ambiental, ecológica, urbanística y global de la comunidad, especialmente de los jóvenes [3]. Es por esto, que el C3Tec es un sitio donde convergen estudiantes, padres y maestros, con el fin de acercarlos a las áreas de STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas), siendo visitado por más de 100,000 personas anualmente desde su apertura en 2015.

Sin embargo, debido al constante avance tecnológico varias de las exhibiciones permanentes necesitan ser actualizadas, requiriendo personal con conocimiento en electrónica, sistema de computadora y programación. Este trabajo en progreso atiende a un acuerdo colaborativo entre el departamento de ingeniería eléctrica y computadoras de UAGM con C3Tec y

tiene cuatro objetivos fundamentales, i) aplicación de reingeniería en procesos de aprendizaje universitario, ii) fortalecer competencias en electrónica y lenguajes de programación conducentes al diseño de prototipos funcionales, iii) reconocer el manejo de variables y su importancia en el diseño ingenieril y, iv) realizar las actualizaciones y mejoras a las exhibiciones permanentes. La organización del artículo es la siguiente: Sección II describe las exhibiciones permanentes a trabajarse. Sección III discute las actualizaciones propuestas. Section IV resume los resultados preliminares. Finalmente, la sección V presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## II. EXHIBICIONES PERMANENTES

Después de un recorrido de reconocimiento por las facilidades de C3Tec y en acuerdo con el personal administrativo del centro, esta sección presenta las exhibiciones a ser trabajadas.

### II-A. Casa Ecológica (CE)

La CE es una de las estaciones interactivas más relevantes en C3Tec (ver Fig. 1). El juego consiste en que el participante pueda construir una casa física a escala, colocando de forma ordenada sus componentes principales tales como el piso, paredes, puertas, ventanas y techo, mediante la selección de diferentes opciones disponibles. Una pantalla mostrará en 2D todos los movimientos seleccionados e indicará errores al ensamblar la estructura completa. A través de una puntuación otorgada, se podrá comprobar la eficiencia de la estructura ecológica ensamblada.

La CE es un método de enseñanza enfocado en desarrollar la intuición como forma de aprendizaje didáctico. Este juego es efectivo a cualquier edad y permite relacionar acciones con visualización en tiempo real basándose en el principio de acción y efecto [6]. Además, el mismo aplica el principio de “*engagement gamification*” el cual despierta la curiosidad cuando los niños o personas ejecutan correctamente las tareas de armar la casa. Los componentes educativos desarrollados en esta estación, teniendo en cuenta las categorías de taxonomía de los juegos educativos, cumple con los siguientes criterios: desafío, control, creatividad, retroalimentación, exploración, objetivos, relevancia y relación con el mundo real [7].

### II-B. Órganos Artificiales (OA)

Esta estación OA está orientada en el aprendizaje multimedia o aprendizaje multimodal, el cual utiliza diferentes

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**



Figura 1. Casa Ecológica.

canales sensoriales, como la vista y el oído, para transmitir información y conocimientos. Las aplicaciones visuales y audibles, como los vídeos, las presentaciones multimedia y los juegos educativos interactivos, son ejemplos comunes de herramientas utilizadas en el aprendizaje multimedia.

Diferentes investigaciones han demostrado que el uso de la combinación de modalidades sensoriales múltiples esporádicamente, no es muy efectivo en edades menores ya que las características temporales de la comprensión visual y la auditiva parece ser diferentes, lo cual puede causar interferencias debido a la ausencia de sincronización entre ambos procesos. Sin embargo, a edades mayores permite relacionar acciones con visualización y audición al mismo tiempo, teniendo resultados más efectivos cuando se usa en un entorno de aprendizaje apoyados por multimedia [4].

La estación OA consiste en seleccionar desde una pantalla alguno de los dispositivos biomédicos de soporte, y mediante un vídeo y sonido, acompañado de una pantalla interactiva con animación, se ilumina la parte del cuerpo humano que requiere del dispositivo biomédico (audífonos, prótesis, marcapasos, etc.). La Fig. 2 muestra la pantalla táctil del computador y la interfaz gráfica con los dispositivos iluminados.

### II-C. Sistema Digestivo de la Vaca (Conversión de Energía)

La estación de conversión de energía (ver Fig. 3) también está orientada en el aprendizaje multimedia o aprendizaje multimodal. La misma consiste en seleccionar desde una pantalla el botón de inicio y seleccionar el proceso de deglución, digestión y defecación de la vaca. Mediante pantallas interactivas con animación, se ilumina la parte del cuerpo de la vaca por donde va pasando el alimento (boca, esófago, estómagos, intestinos, etc.) acompañado de sonido, hasta que el proceso termina en la defecación de la vaca. El estiércol es luego depositado en el piso de manera simulada para convertirse en composta y ser utilizado nuevamente en el suelo como abono. En la actualidad esta aplicación está funcionando

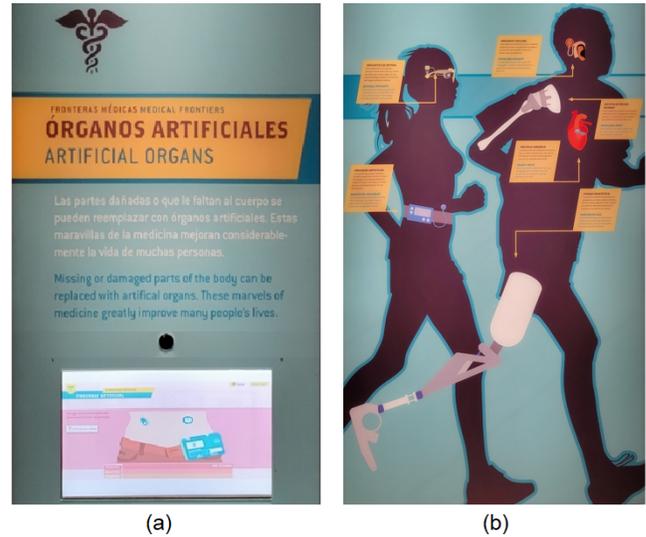


Figura 2. (a) Pantalla táctil de la estación OA.(b) Interfaz gráfica con los dispositivos iluminados de la estación OA.



Figura 3. Estación de Conversión de energía.

correctamente, pero las partes de Hardware requieren ser actualizadas. .

## III. ACTUALIZACIONES PROPUESTAS

### III-A. Estación Interactiva CE

La estación interactiva CE consta de tres componentes principales como se observa en la Fig. 4. La primera tarea de ingeniería es la actualización del sistema operativo a Windows 11 de la computadora donde estará residiendo toda la aplicación software de la CE; en segundo lugar, se harán las tareas de comunicación entre el componente electrónico y el visual que permitirá la interacción de los usuarios con los diferentes componentes de la CE.

El circuito electrónico actual (no funcional) usa tecnología análoga con antenas de fabricación casera y comunicación inalámbrica basada en señales de radio que requiere ser reemplazados. Por otro lado, se utilizará Unity 2022.1 para mejorar el componente visual. Esta versión permite el diseño en 2D, la animación y la inclusión de la física de una manera más fácil. Además, también permite la Usabilidad con más *widgets* de interfaces de usuario [5]. Fig. 5 muestra el circuito y la interfaz actual.

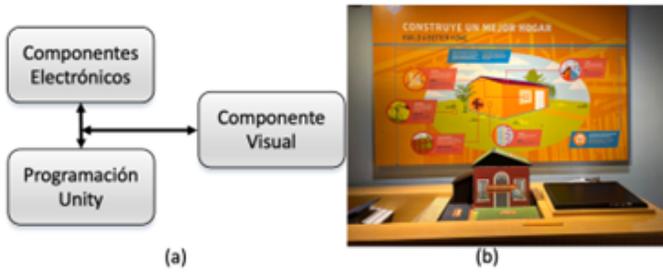


Figura 4. (a) Estructura general de la casa Ecológica. (b) Estación actual



Figura 5. (a) Componente electrónico CE. (b) Componente visual CE.

**III-A1. Circuito Electrónico:** El circuito electrónico propuesto está basado en tecnología RFID (Radio Frequency Identification Technology). Un microcontrolador (Arduino MEGA) generará y enviará las señales requeridas por el software usando el puerto USB. Una computadora con pantalla táctil recibirá los datos para propósitos de visualización.

La Fig. 6 muestra esquemático del circuito propuesto. El mismo está compuesto de 10 módulos RFID RC522 que usan el protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface). Los módulos comparten las líneas SCK para el clock, MOSI para enviar datos del microcontrolador al módulo RFID y MISO para recibir los datos del módulo. A través del pin SS se selecciona y activa el módulo que se quiere leer. Cada módulo debe recibir información de una etiqueta (tag) específica perteneciente a cada una de las partes de la casa ecológica.

Para las etiquetas RFID tenemos dos opciones, mostradas en la Fig. 7. Cada etiqueta será pegada por debajo de cada parte de la casa ecológica. La Fig. 8 muestra la conexión física de los módulos RFID que se estarán usando en la actualización del proyecto. La Tabla I muestra la configuración de conexiones y pines. Cada uno de las etiquetas tienen inscrito un código de identificación en formato hexadecimal, el cual estaremos

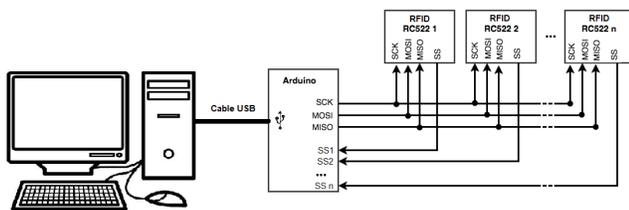


Figura 6. Esquemático del circuito electrónico propuesto.



Figura 7. Etiquetas con tecnología RFID.

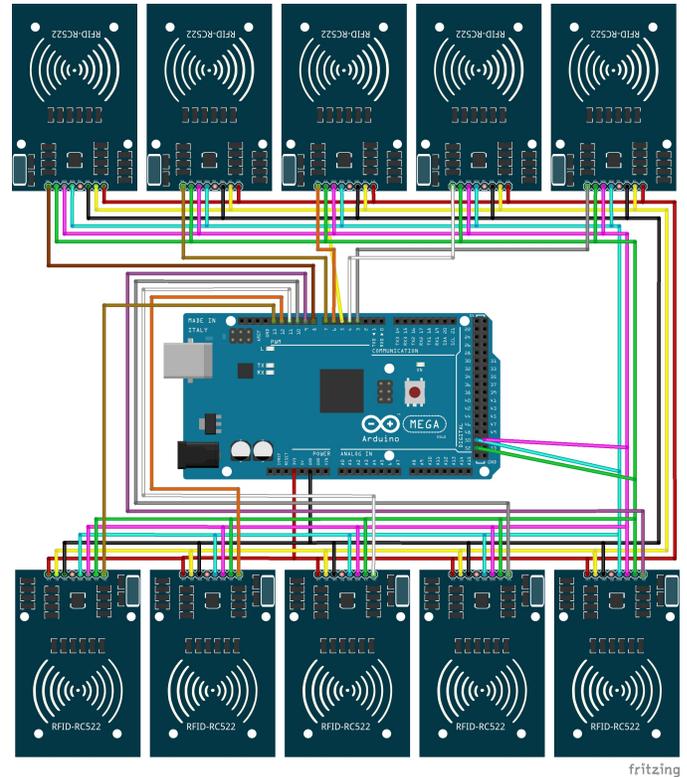


Figura 8. Conexión física de los módulos RFID.

usando para ejecutar las acciones de control y enviar las señales a la computadora principal.

**III-A2. Animaciones Gráficas:** En esta parte del proyecto se plantea seguir una estructura similar a la existente, sin embargo, la estructura interna tendrá un aspecto nuevo y una interfaz visual rediseñada que incluirá nuevos elementos, tales como pisos, techos y paredes con nuevos materiales y adicionalmente, se incluirán ayudas en tiempo-real para permitir una interacción y retroalimentación que conduzcan no solamente al diseño, sino también al aprendizaje interactivo.

La Fig. 9, muestra cuatro posibles modelos animados de la CE, en la misma los usuarios podrán interactuar con los distintos elementos que componen la casa: techo, puertas, ventanas, zonas verdes, caminos entre estas zonas, chimeneas, entre otras cosas, cada uno de estos elementos se hacen disponibles en diferentes materiales con el fin de jugar con diferentes posibilidades de diseño para obtener los mejores resultados, desde una perspectiva ecológica y económica.

Tabla I  
CONFIGURACIÓN DE PINES

Pines de conexión	Color
ROJO	Vcc = 5V
NEGRO	Negativo (Tierra)
SCK	Verde
MOSI	Rosado
MISO	Azul claro
SS1	Café oscuro
SS2	Café claro
SS3	Naranja
SS4	Blanco
SS5	Gris
SS6	Violeta
SS7	Gris
SS8	Blanco
SS9	Naranja
SS10	Café oscuro



Figura 9. Animación 2D de la estructura.

### III-B. Estación Interactiva OA

Actualmente, la computadora utilizada para esta estación interactiva presenta problemas de comunicación con los módulos de Arduino que controlan la iluminación de los dispositivos biomédicos de soporte. Se realizará la actualización del sistema operativo a Windows 10, así como de su sistema de comunicación.

Los módulos de comunicación serial actuales se cambiarán por comunicación inalámbrica (Wi-Fi), y utilizarán un protocolo de comunicación MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que es un protocolo de mensajería estándar para Internet de las cosas (IoT) como se muestra en Fig. 10. MQTT está diseñado como un transporte de mensajería extremadamente ligero que es ideal para conectar dispositivos remotos con un espacio de código pequeño y un ancho de banda de red mínimo. Hoy en día se utiliza en una amplia variedad de industrias, como la automotriz, la manufactura, las telecomunicaciones, entre otras [8].

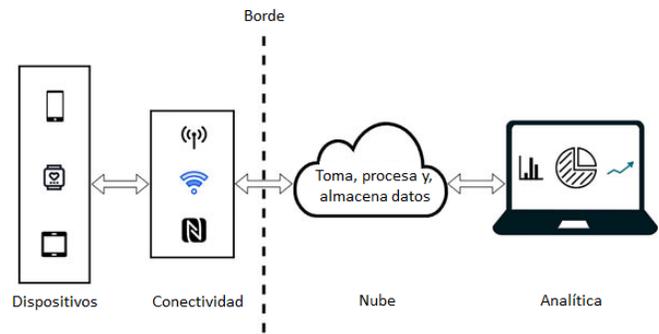


Figura 10. Modelo general de la Arquitectura IoT.

### III-C. Estación Interactiva - Sistema Digestivo de la Vaca

Actualmente la computadora de esta estación utiliza Windows 7 y una pantalla táctil que trabajan correctamente; de la misma manera, el sistema de tarjetas electrónicas que controla la iluminación y el sonido del proceso también trabajan correctamente. Para esta aplicación se proyecta actualizar su sistema operativo a uno más reciente y que maneje la funcionalidad prevista de la aplicación.

En cuanto a las tarjetas electrónicas, se proyecta actualizar los microcontroladores Arduino junto con los sensores utilizados en el circuito que puedan comunicarse inalámbricamente, a través del módulo Wifi esp8266, cambiando la tecnología anterior que usaba serial (UART). Además, los módulos electrónicos se reconstruirían completamente debido a la actualización su sistema de comunicación.

## IV. RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados preliminares en el proyecto de la estación CE incluyen el diseño completo del diagrama para el nuevo circuito y los experimentos físicos con 2 módulos RFID leyendo diferentes etiquetas (Fig. 11 muestra una prueba leyendo una etiqueta RFID). La programación del microcontrolador está desarrollada en un 80% y actualmente se está trabajando el proceso de integración de los 10 módulos RFID. Una vez finalizado este proceso, se conectará el circuito con la nueva interfaz gráfica usando comunicación USB.

La interfaz gráfica está siendo desarrollada por los estudiantes de ingeniería de computadoras de UAGM. Como parte del diseño del prototipo mostrado en la Fig. 9, se está trabajando con cuatro modelos iniciales, cada uno de ellos con alternativas diferentes, respecto a los materiales que se están utilizando actualmente en la construcción de viviendas con fines ecológicos y ambientales; en ese sentido, con la utilización de *Unity Engine*, ya se diseñaron los *Sketch* de los cuatro modelos y la interacción preliminar de los elementos que componen el piso, las paredes y el techo.

Las estrategias de reingeniería aplicadas fueron la evaluación actual del estado de las exhibiciones, la fase del rediseño e innovación, fase de implementación y por último la fase de medir y analizar los resultados. Por otro lado, el aprendizaje se promueve aplicando el concepto de las secuencias

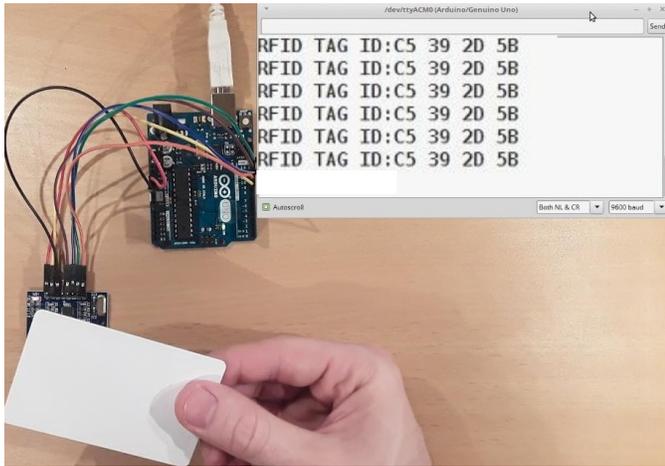


Figura 11. Conexión física de los módulos RFID.

didácticas. Estas secuencias son un conjunto de actividades de aprendizajes interrelacionadas y encadenadas, orientadas a la elaboración de un producto final [9]. En este proyecto, los visitantes aprenden las etapas secuenciales para la elaboración de la casa ecológica empezando con la base, que es la selección del piso, paredes, techo, puertas y ventanas. Para la estación de conversión de energía, los visitantes aprenden que la materia como los alimentos es energía y que la misma no se crea ni se destruye, solo se transforma. En la estación OA, los visitantes aprenden la funcionalidad y la importancia de los órganos vitales.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

C3Tec proporciona un espacio en donde la comunidad en general aprenden ciencia y tecnología de una forma intuitiva e interactiva. De acuerdo a reportes, los resultados de actividades de avalúo demuestran que al menos el 95 % de los visitantes aprenden los conceptos enseñados por las estaciones interactivas. Como caso específico, un recorrido académico en C3Tec hecho por 56 estudiantes de grado 10 de la clase de biología del colegio San Antonio de Isabela, mostró que el 97 % de los participantes adquirió los conocimientos deseados. Los resultados fueron validados en el salón de clase a través de preguntas de discusión con temas aprendidos durante la visita. Además, los estudiantes de ingeniería encargados de implementar las actualizaciones propuestas, podrán aplicar los conceptos aprendidos a lo largo de su carrera en la solución de un problema real, reforzando destrezas cruciales tales como la investigación, desarrollo, implementación y validación de los diseños propuestos.

El impacto de usar la reingeniería que se aplicará en cada una de las estaciones será significativo respecto a la eficiencia y efectividad en la operación de C3Tec, esto sin duda, mejorará la satisfacción de los usuarios que visitan las instalaciones de este centro tecnológico.

## VI. RECONOCIMIENTO

Agradecemos el apoyo recibido por C3Tec y la Universidad Ana G. Méndez recinto de Gurabo.

## REFERENCIAS

- [1] G. Rojas Sánchez, "Diseño de un modelo de reingeniería para mejorar la gestión de la institución educativa San Martín de Porras". Cayalti, 2018.
- [2] S. A. Ahumada Aguas, C. A. Valbuena Ramos, and others, "Aplicación de la reingeniería de procesos al Programa de Trabajo Académico (PTA) de la Universidad del Atlántico", Universidad del Norte, 2017.
- [3] Centro Criollo de Ciencias y Tecnología del Caribe (C3TEC). <https://caguas.gov.pr/c3tec/>. Recuperado el 25 de Febrero de 2023.
- [4] W. Schnotz, R. Alelú-Paz and C. Vizcarro-Guarch, "Aprendizaje Multimedia Desde una Perspectiva Cognitiva," *Revista de Docencia Universitaria*, vol. 2, no. 2, Apr. 2008.
- [5] Unity. <https://unity.com/es/releases/2022.1>. Recuperado el 25 de Febrero de 2023.
- [6] C. P. Chan, H. Leung, J. K. T. Tang and T. Komura, "A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 4, no. 2, pp. 187-195, Jun. 2011.
- [7] T. H. Laine and R. S. N. Lindberg, "Designing Engaging Games for Education: A Systematic Literature Review on Game Motivators and Design Principles," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 13, no. 4, pp. 804-821, Dec. 2020.
- [8] M. Biswajeeran and K. Attila, "The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 201071-201086, Nov. 2020.
- [9] S. Alszer and J. Krystek, "Modular, didactic flexible manufacturing system — Case study," *4th International Conference on Control, Automation and Robotics*. New Zealand, pp. 121-125, 2018.