

Tecnologías de IoT y aprendizaje automático para la solución de problemas en el medio productivo y el cuidado del medioambiente

Jorge Osio^{1,2}, Juan Salvatore¹, Mauro Salina¹, Diego Montezanti^{1,3}, Nicole Denon¹, Santiago Doti¹, Lucas Olivera, Matías Busum Fradera¹, Daniel Alonso¹, Marcelo Cappelletti^{1,2}, Diego Encinas^{1,3}, Martín Morales^{1,4}

¹ Programa TICAPPS, Univ. Nac. Arturo Jauretche, Florencio Varela (1888), Argentina.

² Grupo de Control Aplicado, Instituto LEICI (UNLP-CONICET), La Plata (1900), Argentina.

³ Instituto LIDI - Fac. de Informática -UNLP.

⁴ Centro UTN CODAPLI-FRLP, La Plata (1900), Argentina.

{josio, mcappelletti, jsalvatore, dalonso, dencinas, martin.morales}@unaj.edu.ar

Resumen

El presente proyecto se basa en la utilización de internet de las cosas (IoT) como herramienta fundamental para proveer soluciones a problemáticas de interés social, como lo es el cuidado del medioambiente y la innovación en el sector productivo, focalizando la investigación en las técnicas de visión por computadora y aprendizaje automático.

Entre los temas de investigación que se desarrollarán, se incluye el diseño e implementación de técnicas de visión por computadora con el objeto de agregar funcionalidades a un robot móvil, de manera de proveer autonomía en ambientes con obstáculos, con el agregado de control y supervisión remota mediante IoT. En esta línea, también se implementarán técnicas de visión por computadora para la clasificación de residuos reciclables mediante algoritmos de aprendizaje automático. Esta última aplicación se suma a las líneas relacionadas con el cuidado del medioambiente que se desarrollaron en el proyecto anterior.

En esta propuesta se continuará con las líneas del proyecto anterior de procesamiento digital de imágenes con el agregado de técnicas de aprendizaje automático. Teniendo en cuenta que las técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas a visión por computadora requieren alto poder de cómputo, se considera necesario determinar la tolerancia a fallos del sistema de

procesamiento utilizado, para asegurar la correcta ejecución de dichos algoritmos.

En relación a la detección de fallos, se propone el perfeccionamiento de la metodología desarrollada de tolerancia a fallos transitorios característicos de las arquitecturas multicore, con el objeto de aplicarlo al sistema de visión por computadora.

Palabras clave: *Aprendizaje automático, procesamiento de imágenes, IoT, Visión por computadora, tolerancia a fallos.*

Contexto

Las líneas de I/D presentadas en este trabajo están incluidas dentro del Programa TICAPPS (TIC en aplicaciones de interés social) de la Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), Resolución N° 064/17, bajo la dirección del Dr. Ing. Martín Morales.

1. Introducción

El potencial de los sistemas digitales en IIoT es la integración de diferentes componentes críticos para los procesos industriales que permiten optimizar su rendimiento global (Industria 4.0)[1]. Se pueden obtener grandes beneficios cuando los dispositivos almacenan y analizan sus propios datos de uso, de manera que luego puedan

comunicar esos datos de forma inteligente a otros dispositivos conectados.

La Visión por Computador es la disciplina que estudia cómo procesar, analizar e interpretar imágenes de forma automática. Estas técnicas tienen aplicaciones en muchos ámbitos, como la seguridad, la medicina, la inspección automática, o la navegación automática.

Para explotar las ventajas de las nuevas tecnologías, queda de manifiesto que internet de las cosas es necesario para el almacenamiento y acceso a grandes cantidades de datos en la nube, por otro lado el aprendizaje automático permite el entrenamiento de máquinas para la realización de tareas y la visión por computadora permite la manipulación de objetos para automatizar actividades y procesos.

Dentro de la Visión por Computador, la detección de objetos es uno de los temas más candentes. El problema parece sencillo, pues dada una imagen se desea diseñar un sistema capaz de encontrar en ella un objeto determinado. Para un humano esta tarea parece algo obvio pero para una máquina no lo es en absoluto. Para entender el problema hay que pensar en cómo queda codificada una imagen digital. En general, para una máquina las imágenes son enormes cajas tridimensionales llenas de números. Cada píxel (o punto) de la imagen queda representado con tres valores, que modifican su color como una combinación de la cantidad de rojo, verde y azul. Así pues, cuando una máquina busca un objeto dentro de una imagen lo que realmente hace es buscar patrones que se correspondan con el objeto en particular.

Si dotamos a estas herramientas inteligentes con tecnologías como visión 3D, imágenes multispectrales y lo combinamos con aprendizaje automático, (una rama de la Inteligencia Artificial), para un análisis de datos más profundo y una predicción de modelos más precisa, conseguiremos una inteligencia artificial que dote de mayor flexibilidad a los equipos industriales para la toma de decisiones. De esta manera, se desarrolla la capacidad de configurar un robot

a través del aprendizaje en lugar de usar programación prediseñada.

El concepto de internet de las cosas ha adquirido gran relevancia en los últimos años, debido a la posibilidad que ofrece de interconectar objetos entre sí y la conectividad a internet que provee a las redes de objetos [2]. Aunque los sistemas IoT son más que conocidos, su implementación y desarrollo no ha sido completamente explotado en determinados sectores productivos. Para este tipo de ambientes se dispone de un conjunto de protocolos de comunicación e interfaces como GSM/GPRS, Wifi, bluetooth y zigbee que se pueden implementar mediante herramientas de sistemas embebidos como las desarrolladas en [3-5]. Las investigaciones realizadas mediante IoT se podrían aplicar en el monitoreo de procesos, almacenamiento masivo de datos de sensores y dispositivos de cómputo (Big Data).

Respecto al aprendizaje automático [6], una de las áreas en donde se avanzó notablemente es en la de detección de objetos y clasificación de imágenes. Esto se debe en su mayor parte al desarrollo de nuevas técnicas de Machine Learning (Aprendizaje Automático) como el Deep Learning o Aprendizaje Profundo [7], además de las innovaciones en el manejo de Big Data (datos a gran escala) y el aumento en la capacidad de cómputo mediante el uso de diferentes tecnologías como cloud computing (computación en la nube) o el uso de GPU (unidad de procesamiento gráfico) para el análisis de información. Este avance puede verse en distintas áreas como: medicina, seguridad, turismo, finanzas, robótica, entre otras. Algunos ejemplos de dichos avances en el área se aplican en: control de vehículos autónomos, detección de rostros, detección de matrículas, diagnóstico de enfermedades, realidad aumentada, etc.

Machine Learning es un subcampo de la IA en el que se utilizan diferentes algoritmos para recolectar datos, y con estos realizar un aprendizaje para luego hacer una predicción o sugerencia sobre algo [8]. De esta manera se permitirá resolver problemas de forma intuitiva y automatizada, sin que el

mecanismo de elección se encuentre previamente programado. En la práctica esto se traduce en una función matemática en la que se parte de una entrada y se obtiene una salida, por lo que el desafío reside en construir un modelado automático de esta función matemática.

Deep Learning es un subcampo de Machine Learning, pero existen técnicas de Machine Learning que no utilizan Deep Learning. Este último es utilizado para realizar procesos de Machine Learning empleando redes neuronales artificiales compuestas por varios niveles jerárquicos [7]. En el nivel inicial la red aprende patrones simples, y esta información se envía al siguiente nivel de la jerarquía. Este segundo nivel toma la información obtenida en el primero y la combina con nuevos patrones aprendidos en este, generando información un poco más compleja, la cual es pasada a un tercer nivel, y así sucesivamente. Las técnicas de machine learning y deep learning proveen gran soporte para el diseño de aplicaciones de visión por computadora, es por eso que son parte fundamental de la propuesta.

Por último, teniendo en cuenta que la propuesta será ejecutada en sistemas de cómputo de altas prestaciones y la complejidad incorporada al implementar sistemas multi-cores, incrementa la vulnerabilidad a los fallos transitorios, estos fallos podrían corromper los resultados de las aplicaciones [9]. El alto costo (en términos temporales y de utilización de recursos) que implica volver a lanzar la ejecución de una aplicación desde el comienzo, en caso de que un fallo transitorio produzca la finalización de la aplicación con resultados incorrectos, justifica la necesidad de desarrollar estrategias específicas para mejorar la confiabilidad y robustez en sistemas de múltiples procesadores [10-12]. En cuanto al estado actual de la tolerancia a fallos, la recuperación es correcta pero existe un grado de ineficiencia debido a que no está determinado si un fallo en la reejecución es un fallo nuevo o una repetición del fallo previamente detectado.

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se están desarrollando mediante IoT, procesamiento de imágenes y machine learning se tiene; la detección automática de residuos reciclables, La detección de malezas, técnicas de eficiencia energética, calidad del aire y visión artificial aplicada a robótica.

El reciclado de desechos es considerado de suma importancia para el cuidado del medioambiente, debido a que, supone la reutilización de elementos u objetos ya utilizados, los que de otro modo serían desechados contribuyendo al incremento de la basura y al daño ambiental permanente. En nuestro país, aunque se han tomado medidas para fomentar el reciclado, solo un 24% de la población se esfuerza por separar los residuos para minimizar su generación y la contaminación. Gran parte del problema radica en el esfuerzo que requiere clasificar y separar los residuos inorgánicos, es por eso que en esta línea de investigación se propone desarrollar un sistema basado en redes neuronales artificiales que permita detectar y clasificar los objetos reciclables más comunes como papel, cartón, botellas, latas, etc, y los materiales con los que están hechos (plástico, vidrio, metal, papel).

Respecto a la visión por computadora ([13] y [14]), se está llevando adelante la implementación de un sistema robótico que sea capaz de detectar obstáculos e identificar señales, mediante procesamiento de imágenes, para dotarlo con capacidades autónomas [15].

Adicionalmente, se ha desarrollado un sistema de control para el sensado de gases y el control automático de iluminación y ventilación, de tal forma de contribuir con la eficiencia energética y calidad del aire y calidad del aire en ambientes cerrados [16].

2. Líneas de Investigación y Desarrollo

El grupo de investigación que se ha constituido en la UNAJ es multidisciplinario,

y sus miembros cuentan con experiencia en sistemas de cómputo de altas prestaciones, tolerancia a fallo, procesadores embebidos, IoT, aprendizaje automático, y robótica.

En cuanto a la robótica ([15] y [17]), esta línea está en pleno desarrollo y se buscan aplicaciones innovadoras como la detección de objetos para reciclado, la capacidad de detección de señales y obstáculos para el funcionamiento autónomo mediante procesamiento de imágenes ([18] y [19]).

Las líneas de I/D que se presentan en este trabajo están basadas en el estudio y desarrollo de herramientas alternativas para el procesamiento de imágenes a partir de algoritmo de procesamiento, aprendizaje automático y visión por computador.

Temas de Estudio e Investigación

Los datos recopilados de la robótica industrial pueden suponer grandes cantidades de información dependiendo de los sensores de los que disponga y de la integración con otros sistemas. Este Big Data Industrial nos permitirá conseguir una mayor precisión en los sistemas de Machine Learning y, cuanto mayores sean los datos útiles con los que alimentemos el modelo, mejor será su aprendizaje y, por ende, sus predicciones.

Los aportes originales no solo tienen que ver con el manejo de la información, sino también con las aplicaciones innovadoras que se le puede dar al aprendizaje automático en visión por computadora y robótica, donde el ejemplo más claro se muestra en la posibilidad de disponer de un sistema de reciclaje automático. También se puede innovar respecto a la visión por computador para conseguir la realización de tareas específicas mediante dispositivos robóticos en procesos particulares de la industria local.

Respecto a la tolerancia a fallos, partiendo del sistema desarrollado previamente, se buscará mejorar la eficiencia en la detección de fallos.

3. Resultados y Objetivos

Resultados alcanzados:

La detección y clasificación de objetos reciclables, son líneas de estudio comenzadas recientemente, aunque, ya se cuenta con la implementación de los primeros modelos basados en la arquitectura de redes neuronales convolucionales (CNN). Estos modelos se desarrollaron en un entorno virtualizado obteniendo como resultado tasas de acierto cercanas al 75%.

Por otro lado, se iniciaron pruebas desarrollando modelos que hacen uso de las técnicas de aprendizaje por transferencia (Transfer Learning), en los que los resultados son prometedores, con aciertos cercanos al 84%. También se está trabajando en la mejora continua de los set de datos utilizados para el entrenamiento de los modelos de CNN desarrollados.

En el trabajo reciente, se llevó a cabo el desarrollo de una aplicación (versión Beta), implementada en un miniordenador Raspberry Pi 3 Model B+, en donde se hace uso del módulo de la cámara (pi camera) de la Raspberry para tomar fotos en tiempo real y realizar la clasificación de dicha imagen determinando que tipo de objeto reciclable se encuentra en ella [13]. Dentro de los resultados obtenidos se está evaluando no solo el porcentaje de acierto, sino también, los tiempos de predicción. Si bien se detectó que la carga inicial del modelo de red neuronal tiene una latencia de entre 30 y 40 segundos, luego, la captura de la imagen y posterior clasificación arrojó tiempos aproximados a los 10 segundos.

En cuanto a las aplicaciones en robótica, actualmente se está trabajando con un robot móvil con cámara y un brazo robótico, se espera obtener resultados a lo largo del año.

Por último, se debe destacar que en cuanto a la tolerancia a fallos, se concluyó con los estudios de doctorado del Profesor Montezanti, obteniendo muy buenos resultados en sistemas de cómputo de altas prestaciones. De cualquier manera, se

continúa con la línea en el nuevo proyecto de investigación.

Objetivos esperados:

- Promover la generación de conocimiento teórico y aplicado, como el desarrollo de instrumentos que puedan aplicarse en las materias de posgrado y la formación de recursos humanos en investigación.

- Fortalecer la actividad de investigación y vinculación en el área de las TIC que contribuyan a remediar las problemáticas existentes dentro del territorio de influencia de la UNAJ en las áreas de medio ambiente y medio socio productivo.

- El objetivo principal de esta línea de investigación es desarrollar nuevas técnicas y obtener resultados favorables respecto a la detección de objetos y características del ambiente aplicando técnicas de visión por computadora y aprendizaje automático.

- Realizar el diseño y desarrollo de una metodología que permita tolerar fallos transitorios que se producen en las arquitecturas multicore (sistemas de múltiples procesadores), y que afectan especialmente la ejecución de aplicaciones paralelas de cómputo intensivo.

Se espera contribuir con el cuidado del medio ambiente, a través de la detección, reconocimiento y clasificación de objetos reciclables. Además, se pretende contribuir en el desarrollo de tecnología para el sector agroindustrial, mediante diferentes aplicaciones de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático.

4. Formación de Recursos Humanos

Uno de los principales objetivos del Programa TICAPPS, dentro de la temática de las líneas de I/D presentadas en este trabajo, es la formación de recursos humanos, tanto de docentes investigadores como de estudiantes.

Dentro de la temática de la línea de I+D,

todos los miembros del proyecto participan en el dictado de asignaturas de la carrera de Ingeniería Informática de la UNAJ.

En este proyecto existe cooperación a nivel Nacional. Hay dos Doctores en Ingeniería, un Magister, un Especialista, un Doctorando y un integrante realizando Maestría en temas relacionados.

Además hay dos estudiantes avanzados realizando las PPS de final de carrera en la temática. Actualmente, se encuentran en curso dos Tesis de Doctorado y una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (Becas EVC – CIN), relacionadas directamente con las líneas de I/D presentadas.

5. Bibliografía

[1] Luis joyanes Aguilar, “Industria 4.0, la cuarta revolución industrial, Alfaomega, 2016. ISBN: 978-607-622-942-2

[2] Leila Fatmasari Rahman, ”Choosing your IoT Programming Framework: Architectural Aspects”, 2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud

[3] J. Osio, M. Cappelletti , G. Suárez, L. Navarro, F. Ayala, J. Salvatore , D. Alonso ,D. Encinas, M. Morales, “Diseño de aplicaciones de IoT para la solución de problemas en el medio socio productivo”, UNSJ, San Juan, WICC 2019.

[4] Osio J., C. Acquarone, E. Hromek, J. Salvatore, “Plataforma de desarrollo para IoT”, IV conaiisi, 2017

[5] J. Osio, J. Salvatore , D. Alonso , V. Guarepi , M. Cappelletti , M. Joselevich , M. Morales, “Tecnologías de la información y las comunicaciones mediante IoT para la solución de problemas en el medio socio productivo”, UNNE, Ciudad de Corrientes, WICC 2018.

[6] J. Hurwitz, D. Kirsch, “Machine Learning for Dummies”, Ed. Wiley, 2018.

- [7] Nikhil Buduma, “Fundamentals of Deep Learning”, Editorial O’reilly. 2017
- [8] Aurelien Gerón, “Hands-On Machine Learning with scikit Learn & TensorFlow”, Editorial O’reilly, 2017
- [9] D. Montezanti, A. De Giusti, M. Naiouf, J. Villamayor, D. Rexachs, E. Luque, “AMethodology for Soft Errors Detection and Automatic Recovery”, in Proceedings of the 15th International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS). ISBN: 978-1-5386-3250-5/17. IEEE, 2017, pp. 434
- [10] J. Osio, J. Salvatore, E. Kunysz, D. Montezanti, D. Alonso, M. Morales, “Análisis de Eficiencia en Arquitecturas Multiprocesador para Aplicaciones de Transmisión y Procesamiento de Datos”, ITBA, CABA, WICC 2017
- [11] J. Osio, D. Montezanti, E. Kunysz, Morales M., “Análisis de eficiencia y tolerancia a fallo en Arquitecturas Multiprocesador para aplicaciones de procesamiento de datos”, UNNE, Corrientes, WICC 2018.
- [12] J. Osio, D. Montezanti, E. Kunysz, Morales M., “Determinación de la eficiencia y Estrategias de Tolerancia a Fallos en Arquitecturas Multiprocesador para aplicaciones de procesamiento de datos”, UNSJ, San Juan, WICC 2019.
- [13] Ashwin Pajankar, Raspberry Pi Computer Vision Programming Second Edition, (2015).
- [14] Francisco Moreno y Esmitt Ramírez, “Algoritmos de Visión por Computador para un SBC”, (2017).
- [15] Mohammad Jamshidi y Patrick J. Eicker, Robotics and remote system for hazardous environments, Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos (1993)
- [16] Lo E., Fain F., Osio J., Cappelletti M., Aróztegui W., “Machine learning aplicada a variables ambientales”, VII CONAIIISI, 2020.
- [17] Jorge Angeles, “Fundamentals of Robotic Mechanical Systems”, (2014).
- [18] Gary Bradski and Adrian Kaehler, “Learning OpenCV”, (2008).
- [19] Wilhelm Burger & Mark J. Burge, “Digital Image Processing”, Second Edition (2008).