

Tecnologías de Smart IoT para la solución de problemas en el medio socio productivo

Jorge Osio^{1,2}, Juan Salvatore¹, Mauro Salina¹, Marcelo Cappelletti^{1,2}, Diego Montezanti^{1,3}, Lucas Olivera^{1,4}, Martín Paez¹, Franco Palacio¹, Matías Busum Fradera¹, Facundo Chazarreta¹, María Florencia Ayala¹, Diego Encinas^{1,3}, Martín Morales^{1,5}

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 de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática - UNLP – Centro Asociado CIC.

⁴ Becario de la Comisión de Investigaciones Científicas, Pcia. Bs. As. (CICPBA), La Plata (1900), Argentina.

⁵ Centro UTN CODAPLI-FRLP, La Plata (1900), Argentina.

{josio, mcappelletti, dmontezanti, jsalvatore, mdsalina, 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 del medio socio productivo, como son el cuidado del medioambiente y la innovación en el sector productivo, focalizando la investigación en las técnicas de Smart IoT.

Entre los temas de investigación que se desarrollan en esta línea, se incluye el diseño e implementación de técnicas de visión por computadora con el objeto de agregar funcionalidades a dispositivos robóticos. Además, mediante el agregado de control y supervisión remota (con herramientas de IoT), se busca proveerles autonomía para la realización de determinadas tareas. En esta línea, también se están implementado técnicas de visión por computadora para la clasificación de residuos reciclables mediante algoritmos de aprendizaje automático. Además, se utilizan técnicas de aprendizaje profundo y visión por computadora para la clasificación de diferentes condiciones del cielo, con el objetivo de optimizar sistemas que aprovechan la energía solar.

En la misma línea de Smart IoT, se está trabajando en el desarrollo de una plataforma de servicios IoT que contempla los servicios más importantes. Esta plataforma permite la obtención de datos provenientes de una red de sensores, lo que posibilitará, mediante

técnicas de aprendizaje automático, la implementación de un sistema de ayuda a la toma de decisiones para optimizar y mejorar el aprovechamiento de los recursos.

Por último, actualmente se están investigando los aspectos de seguridad en cada una de las capas del sistema, debido a que éste se ha vuelto un aspecto de gran relevancia en los sistemas de IoT.

Palabras clave: *Aprendizaje automático, procesamiento de imágenes, Smart IoT, Visión por computadora.*

Contexto

Las líneas de I/D presentadas en este trabajo pertenecen al grupo SIoT&IA y 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

En los últimos años ha surgido el concepto de Smart IoT (SIoT), favorecido por las mejoras de los procesadores para sistemas embebidos que los hacen aptos para la ejecución de algoritmos de aprendizaje automático [1]. La gran ventaja que aportan es que posibilitan la resiliencia del sistema cuando se pierde

conexión con el servidor permitiendo lograr una alta disponibilidad y por otro lado los dispositivos almacenan y analizan sus propios datos, de manera que las decisiones se pueden tomar localmente y luego comunicar las acciones al servidor para mantener la integración del sistema.

Las tecnologías de internet de las cosas son necesarias para el almacenamiento y uso de 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. Para entender el problema hay que pensar en cómo queda codificada una imagen digital. En base a esto, 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 multiespectrales y lo combinamos con aprendizaje automático, 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 electrónicos para la toma de decisiones. De esta manera, se desarrolla la capacidad de configurar un robot a través del aprendizaje automático. 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]. En los últimos años ha surgido el concepto de Internet de Objetos Inteligentes (IIoT), que promete importantes avances en diferentes áreas de aplicación. Para este tipo de aplicaciones se dispone de un conjunto de protocolos de comunicación e interfaces que se pueden implementar mediante herramientas de sistemas embebidos como las desarrolladas en [3-6]. Las investigaciones realizadas mediante smart IoT se podrán aplicar en el

automatismo y 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 (Aprendizaje Profundo) [7], además de las innovaciones en el manejo de datos a gran escala y la amplia variedad de servicios que se generan mediante cloud computing (computación en la nube) para el análisis y procesamiento de información. Algunos ejemplos de dichos avances en el área se aplican en: control de vehículos autónomos, detección de rostros, diagnóstico de enfermedades, realidad aumentada, etc.

Machine Learning es un subcampo de la IA [8]. Los algoritmos de Machine learning permiten resolver problemas de forma intuitiva y automatizada, sin que el mecanismo de elección se encuentre previamente programado. Por su parte, 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]. Básicamente es como implementar niveles de aprendizaje partiendo de lo más obvio para luego combinarlo posibilitando lograr obtención de características más complejas. 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, la importancia de disponer un servidor de servicios IoT propio, permite no solo obtener grandes cantidades de datos, sino realizar un análisis y procesarlos sin depender de servicios externos, esto no solo permite ganar en eficiencia sino también incrementar la calidad del servicio [9]. En esta instancia es de suma importancia considerar los aspectos de seguridad en las plataformas IoT, es por

esto que se considera fundamental la inclusión de esta nueva línea como parte de todo sistema IoT.

Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se están desarrollando mediante IoT, procesamiento de datos, imágenes y machine learning se tiene; la detección automática de residuos reciclables, la detección de malezas, técnicas de eficiencia energética, calidad del aire, obtención de magnitudes climatológicas, radiación solar, visión artificial aplicada a robótica y la clasificación de diferentes condiciones de cielo [10].

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. 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) [11].

Respecto a la visión por computadora, 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 [12]. Además de un brazo robótico que permite seleccionar objetos previamente identificados mediante visión artificial [12]. En este sentido se incluye la detección automática de gestos como una forma de comunicación, generando comandos y acciones a distancia sin necesidad de emitir sonido ni acción física (pensado para personas). 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 [13].

Por otro lado, se implementó una red de sensores IoT que permiten obtener valores de más de 10 variables climáticas, como presión atmosférica, humedad del suelo, humedad ambiente, temperatura, intensidad lumínica, niveles de dióxido de carbono, entre otras. Lo que permitirá la implementación de un sistema inteligente que logre optimizar las plantaciones de cultivos en la zona.

Finalmente, la cobertura de nubes es un factor que atenúa y ocasiona intermitencia en los valores de la energía proveniente del sol [10]. La aparición de grandes nubes que tapan el disco solar produce cambios repentinos en los valores de la radiación solar. Esta variabilidad provoca que la producción de energía que pueden generar los sistemas que aprovechen esta fuente como recurso energético no sea constante ni totalmente predecible en el tiempo. Sobre este punto, se ha desarrollado un sistema capaz de clasificar, mediante técnicas de aprendizaje profundo y visión por computadora, diferentes condiciones de cielo como consecuencia de la cobertura de nubes, lo cual será de suma utilidad para sistemas que utilicen la energía solar.

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 [12], esta línea está en pleno desarrollo y se buscan aplicaciones innovadoras como la detección de objetos para reciclado y la capacidad de detección de señales y obstáculos para el funcionamiento autónomo mediante procesamiento de imágenes [14].

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 algoritmos de procesamiento, aprendizaje automático y visión por computador. Respecto a los sistemas smart IoT se pretende en una primera instancia evaluar las herramientas tecnológicas disponibles para determinar la limitación y las posibles aplicaciones, adicionalmente se considera de vital importancia contemplar los aspectos de seguridad en todo sistema IoT, para evitar ataques y limitaciones en el servicio.

Temas de Estudio e Investigación

Los datos recopilados de la robótica y de los sensores relacionados con el cultivo pueden suponer grandes cantidades de información dependiendo de los sensores de los que disponga y de la integración con otros sistemas. Esto permitirá conseguir una mayor precisión en los sistemas de Machine Learning y, cuantos más 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. Por último, la detección automática de gestos puede ser una forma de comunicación para personas con problemas motrices y del habla, pero también puede ser aplicable en lugares inhóspitos y de reducida movilidad.

En cuanto al análisis de los datos climáticos en zonas de cultivos, permitirá estudiar cuáles de las técnicas de aprendizaje automático logra adecuarse mejor para determinar posibles problemas, y por ende soluciones en cultivos futuros. Por otro lado, se están logrando avances en la determinación de la atenuación de la radiación solar global, a

partir de la clasificación de diferentes condiciones de cielo (despejado, parcial o totalmente nublado) y de variables meteorológicas de sencilla adquisición.

En relación a los aspectos de seguridad en sistemas IoT, esta se considera un aspecto fundamental en dichos sistemas, es por eso que se deberá evaluar:

- La seguridad propuesta por el protocolo mqtt basada en SSL que permite el encriptado entre broker y dispositivo.
- Si el servidor es de un tercero se deberán evaluar los canales de encriptado punto a punto (de extremo a extremo) para evitar el acceso a la información crítica.
- Las formas de garantizar la privacidad de los datos del cliente.
- Evaluar la utilidad de una blockchain, (ejemplo BFA)
- Evaluar la seguridad de los dispositivos finales y cómo se pueden comunicar de forma segura con el servidor en cuanto a integridad (algoritmo de Hash), confidencialidad (encriptado simétrico - AES) y autenticidad.

3. Resultados y Objetivos

Resultados alcanzados:

La detección y clasificación de objetos reciclables cuenta con la implementación de los primeros modelos basados en la arquitectura de redes neuronales convolucionales (CNN) con las que se alcanzaron tasas de acierto cercanas al 75%. Respecto a las pruebas desarrollando modelos que hacen uso de las técnicas de aprendizaje por transferencia (Transfer Learning), se logró una mejora en los modelos iniciales elevando la tasa de acierto a un 80% para los modelos entrenados desde cero y casi un 92% en modelos basados en Transfer Learning. Por otro lado, en aplicaciones de detección de objetos defectuosos se obtuvieron buenos resultados mediante el método `get_avg_precision_at_iou`, la performance del modelo entrenado fue de mAP 0.76, es decir, una precisión del 76%. Luego, se realizó un segundo entrenamiento con el modelo Faster

R-CNN Mobilenetv3 Large FPN para reducir la potencia computacional a cambio de la pérdida de precisión (ideal para sistemas de cómputo de bajas prestaciones, como por ejemplo la Raspberry Pi 3 Model B+, en donde se ejecutaron las aplicaciones [10]).

Adicionalmente, se están realizando las primeras pruebas de estos modelos utilizando arquitecturas más simplificadas como MobileNet en microcontroladores Esp32-cam, inclusive se espera realizar pruebas de detección de varios objetos en la imagen o video, pudiendo realizar una detección en tiempo real.

En cuanto a las aplicaciones en robótica, actualmente se está trabajando con un robot móvil con cámara y un brazo robótico con esp32 cam. Respecto al robot móvil, se consiguió implementar el guiado autónomo mediante detección de líneas en imágenes usando procesamiento en tiempo real, en donde se está perfeccionando el algoritmo en las partes con curvas pronunciadas, para esto se está utilizando otro algoritmo de control. En cuanto al brazo, este pudo ser controlado desde el esp32 cam de forma remota, accediendo a una página web embebida con los botones de movimiento disponibles, el siguiente paso es mapear la grilla de la imagen con las coordenadas que se le pasan al brazo para que cada vez que se detecta un objeto el brazo lo pueda capturar y trasladar.

Por otra parte, se logró implementar una red sensores basada en IoT que permite obtener información de magnitudes climatológicas, del estado del suelo y del agua de arroyos con el fin de a partir de la información obtenida generar alertas tempranas que serán enviadas a los usuarios. Esta información permitirá perfeccionar las técnicas de cultivo, optimizar la cosecha y detectar el vertido de desechos en arroyos. En esta línea de trabajo se están realizando mejoras mediante la migración de los servicios a la nueva plataforma de servicios IoT desarrollada, conjuntamente con las mejoras en el HW respecto al bajo consumo y la alimentación a batería.

Objetivos esperados:

- Promover la generación de conocimiento y el desarrollo de instrumentos que puedan aplicarse en la formación de recursos humanos para investigación.

- Fortalecer la actividad de investigación y vinculación que contribuya a remediar las problemáticas del territorio de influencia de la UNAJ.

- 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.

- Se espera contribuir con el cuidado del medio ambiente y la producción industrial, a través de la clasificación automática de objetos reciclables, la detección de productos defectuosos y la mejora de la producción agrícola mediante el análisis de variables climáticas a través de diferentes técnicas de Smart IoT.

- Teniendo desarrollada nuestra propia plataforma de servicios IoT, se buscará contribuir en todos los aspectos de seguridad desde el dispositivo final hasta el almacenamiento de datos en la nube y el acceso a los diferentes servicios por parte del usuario final. En este sentido, se evaluarán los métodos actuales y se pensarán alternativas para casos particulares.

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, cuatro Doctorandos y un integrante realizando su Maestría en temas relacionados.

Además, hay 4 estudiantes avanzados realizando las PPS de final de carrera en la temática. Actualmente, se encuentran en curso tres Tesis de Doctorado y tres becas de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (Becas EVC – CIN) y 2 becas UNAJ de investigación relacionadas directamente con las líneas de I/D presentadas.

5. Bibliografía

[1] M. Taha Yazici, S. Basurra and M. Medhat Gaber, "Edge Machine Learning: Enabling Smart Internet of Things Applications". School of Computing and Digital Technology, Birmingham City University, Birmingham, UK

[2] L. 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] J. Osio, J. Salvatore, M. Salina, M. Angel Cappelletti, D. Montezanti, N. Denon, S. Doti, L. Olivera, C. Botta, M. Busum Fradera, F. Chazarreta, D. Terceros Quiroz, D. Encinas, M. Morales. "Tecnologías de Smart IoT y aprendizaje automático para la solución de problemas en el medio productivo". XXIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2022, Godoy Cruz, Mendoza), 2022.

[5] J. Osio, J. Salvatore, M. Salina, D. Montezanti, N. Denon, S. Doti, L. Olivera, M. Busum Fradera, D. Alonso, M. Angel Cappelletti, D. Encinas, M. Morales. "Tecnologías de IoT y aprendizaje automático para la solución de problemas en el medio productivo y el cuidado del medioambiente". XXIII Workshop de Investigadores en

Ciencias de la Computación (WICC 2021, Chilecito, La Rioja), 2021.

[6] 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.

[7] N. Buduma, "Fundamentals of Deep Learning", Editorial O'Reilly, 2017

[8] A. Gerón, "Hands-On Machine Learning with scikit Learn & TensorFlow", Editorial O'Reilly, 2017

[9] F. Chazarreta, M. Busum Fradera, J. R. Osio, J. E. Salvatore, Morales D. M. "Diseño de una plataforma de servicios IoT para aplicaciones de interés social", IX CONAIIISI, 2022.

[10] M Salina, JR Osio, MA Cappelletti, M Morales. *Aprendizaje automático aplicado al procesamiento de imágenes para la clasificación de objetos reciclables*. XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC). 2021

[11] L Olivera, J Atia, L Amet, J Osio, M Morales, M Cappelletti, Uso de redes neuronales artificiales para la estimación de la radiación solar horaria bajo diferentes condiciones de cielo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 24, 232-243, 2020/12/30

[12] M. Jamshidi y P. J. Eicker, Robotics and remote system for hazardous environments, Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos (1993)

[13] Lo E., Fain F., Osio J., Cappelletti M., Aróztegui W., "Machine learning aplicada a variables ambientales", VII CONAIIISI, 2020.

[14] W. Burger & M. J. Burge, "Digital Image Processing", Second Edition (2008).