Prototipo de Aplicación para la Detección de Enfermedades en Cultivos de Tomate

Edgar Rodrigo Arredondo Basurto1, Eduardo Gutiérrez Aldana2, José Félix Serrano Talamantes3

Escuela Superior de Cómputo I.P.N México D.F.

Tel. 57-29-6000 ext 52000 y 52021. Email: [1edgar\_arredondo@outlook.com](mailto:1edgar_arredondo@outlook.com), 2

*Resumen –* **El trabajo terminal presentado consiste en el prototipo de aplicación de reconocimiento de imágenes que permite identificar enfermedades en cultivos de tomate con base en el reconocimiento de imágenes a través de técnicas de aprendizaje profundo. Se logra una eficiencia de clasificación del 98.82%.**

*Palabras clave* – **Clasificador, descriptor, aprendizaje automático, aprendizaje profundo, red neuronal artificial.**

1. INTRODUCCIÓN

La producción de tomate en México creció a una tasa promedio anual de 3.3% entre 2005 y 2015 para ubicarse en 3.1 millones de toneladas. Sin embargo, las enfermedades son consideradas uno de los principales factores limitantes en el cultivo de tomate. Por ejemplo, el tizón temprano representa una de las enfermedades más comunes en el mundo y puede generar un decremento significativo en la producción de tomate y lesiones serias en los frutos. De forma similar, el tizón tardío es la enfermedad más sería que afecta al tomate. Puede rápidamente, en menos de una semana, arruinar plantaciones enteras y generar fuentes de infección para otras plantas.

De esta forma, es importante proveer una identificación y detección temprana en el momento en que una enfermedad se presenta. Lo anterior puede marcar la diferencia para elegir el tratamiento correcto y evitar que la enfermedad se propague. Para lograr esto, el agricultor debe contar con una formación académica, un extenso conocimiento de varias disciplinas, experiencia en los síntomas de las enfermedades así como conocimiento de la gran cantidad y diversidad de causas de las enfermedades.

La arquitectura general de sistemas de clasificación de enfermedades de plantas a través del análisis imágenes consiste de tres etapas: pre-procesamiento, extracción de descriptores y clasificación.

Las etapas de pre-procesamiento y extracción de descriptores implican operaciones que suelen ser complejas y consumir tiempo considerable. Por esta razón es común solicitar asistencia al usuario lo que disminuye el grado de automatización del sistema.

En este proyecto se plantea el uso de un modelo de aprendizaje profundo, específicamente de una Red Neuronal Convolucional (CNN) como una alternativa a la clasificación de enfermedades en plantas. Este modelo permite que los descriptores sean definidos y obtenidos de una forma completamente automática. Además, permite realizar la etapa de entrenamiento y clasificación directamente sobre las imágenes, sin incluir operaciones de pre-procesamiento. Las características anteriores permiten desarrollar un sistema completamente automatizado en el que la única acción que el usuario debe que realizar es proporcionar la imagen de la hoja enferma. Además, está solución permite agregar más clases al algoritmo clasificador únicamente proporcionando la cantidad suficiente de imágenes durante la etapa de entrenamiento, gracias a que la ingeniería de descriptores es completamente automática

1. METODOLOGÍA

La metodología propuesta consiste de dos etapas principales (figura 1), el clasificador y el sistema Web. En dichas etapa se realizan las acciones siguientes.

1. Entrenamiento (calibración fina)
2. Identificación de enfermedades (clasificación)



Figura 1. Metodología.

1. Calibración fina de la AlexNet

En la etapa de entrenamiento se realiza un proceso de calibración fina sobre una red pre-entrenada en ImageNet. Esto implica que se reemplaza la capa de salida de dicha red por una nueva capa que contiene diez clases (nueve enfermedades y planta sana). Dicho procedimiento se realizó con el framework de aprendizaje profundo Caffe. Este framework proporciona modelos de distintas arquitecturas entrenados sobre ImageNet. La arquitectura seleccionada fue la ganadora del *ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition (ILSVRC) 2012*, la AlexNet. Caffe cuenta su versión de dicha red que es llamada CaffeNet.

El conjunto de datos usado para el proceso de calibración fina de la CaffeNet está formado por 16,419 imágenes distribuidas en diez clases de la forma siguiente.

|  |  |
| --- | --- |
| **Clase** | **Número de imágenes** |
| Virus del rizado amarillo del tomate | 4032 |
| Virus del mosaico del tomate | 325 |
| Corynespora cassiicola. Mancha en forma de blanco | 1,356 |
| Araña roja | 1,628 |
| Septoriosis | 1,723 |
| Passalora fulva. Moho en la hoja | 904 |
| Tizón tardío | 1,781 |
| Tizón temprano | 952 |
| Mancha bacteriana | 2,127 |
| Hoja sana | 1,591 |
| Total | 16,419 |

Tabla 1. Conjunto de datos.

Del total de imágenes se usó el 80% para realizar el entrenamiento de la red y el restante 20% para realizar la medición de eficiencia mediante el uso de la matriz de confusión (tabla 2).

La red se entrenó durante 8097 iteraciones, obteniendo una eficiencia de clasificación del 98.82%.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **0** | 336 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **1** | 1 | 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| **2** | 0 | 0 | 425 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 1 | 0 | 0 | 1071 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 1 | 0 | 0 | 0 | 314 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **6** | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 257 | 3 | 0 | 1 |
| **7** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 196 | 2 | 0 |
| **8** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 379 | 3 |
| **9** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 191 |

Tabla 2. Matriz de confusión.

1. Identificación de enfermedades.

Una vez entrenado el modelo hay una variedad de alternativas de lenguajes de programación en los cuales puede realizarse la identificación de enfermedades: Python, C++, Java y Matlab.

* 1. Publicación por la Escuela de Ingeniería Informática de Segovia

El manuscrito no podrá ser publicado por la Escuela de Ingeniería Informática de Segovia si:

1. El trabajo contiene información clasificada o información que no ha sido autorizada para publicación. Los autores son responsables de asegurarse que el contenido de los artículos no está clasificado y no incluye material sensible.
2. El trabajo infringe las normas internacionales de copyright.
3. El trabajo ya ha sido publicado o está actualmente siendo bajo consideración para su publicación en algún otro medio.
4. Formato del Artículo

El tamaño del artículo tiene que ser A4, con un formato de doble columna, excepto por el título, la información de los autores, y las figuras y/o tablas que así lo requieran. Los márgenes deben ser de 1.0 pulgadas en la parte superior e inferior del artículo, y de 0.75 a la izquierda y derecha. Las columnas deben tener el mismo tamaño, 3.38 pulgadas, con 0.25 pulgadas entre las columnas. Los párrafos no deben tener sangría, con un espacio vertical entre párrafos de 6 puntos. Todos los artículos deben usar el tipo de letra Times New Roman de 10 puntos.

La longitud mínima de un artículo será de 4 páginas, y salvo casos excepcionales, la longitud máxima será de 12 páginas.

* 1. Título e Información de los Autores

El título debe de estar centrado en una sola columna. El título debe usar una fuente Times New Roman de 17 puntos, con un espacio equivalente a 14 puntos debajo. Los nombres de los autores tienen que tener un tamaño de 11 puntos, con un espacio equivalente a 11 puntos debajo.

Para cada autor, un superíndice numerado debe usarse para indicar la afiliación. Para cada institución de la que al menos uno de los autores esté afiliado, se debe incluir el nombre y la dirección. En el caso de estudiantes sin una afiliación contractual con una institución concreta se indicará el Grado o la Escuela a la que pertenecen y la universidad en la que cursan los estudios (“Estudiante del Grado…” o “Estudiante de la Escuela…”). Esto se tiene que indicar igualmente con superíndices, y utilizando un tamaño de letra de 9 puntos en itálica, con un espacio de 12 puntos debajo de la última afiliación. El elemento final en el bloque del título se corresponde con las dirección de correo electrónico de los autores. Éstas se pondrán utilizando un tamaño de letra de 9 puntos en itálica. Un espacio de 24 puntos tiene que incluirse debajo de esta línea.

* 1. Encabezados de Secciones y Subsecciones

Los encabezados de las secciones y subsecciones se numerarán y se separarán con un punto (‘.’) del título de la sección o subsección. Los encabezados de las secciones se pondrán en “Versalita”, 10 puntos, negrita, y alineados a la izquierda. Para las subsecciones se usará 10 puntos, negrita, y alineación izquierda. Todos los niveles que vengan por debajo de este, no se numerarán, y se usará tamaño de 10 puntos, negrita, con el texto comenzando inmediatamente después del encabezado, en la misma línea.

* 1. Tablas y Figuras

Coloca las figuras y las tablas en la parte superior o inferior de las columnas siempre que sea posible. Evita colocarlas en el medio de las columnas. Las figuras y tablas de gran tamaño pueden ocupar ambas columnas. Los pies de figuras deben aparecer debajo de las figuras. En lo que respecta a las tablas, se debe colocar encima de éstas. Inserta las tablas y las figuras después de que sean citadas en el texto. Las tablas y las figuras se deben numerar de manera consecutiva. Los pies de tablas o figuras deben tener tamaño de 10 puntos y estar centrados. Las tablas deben ser autocontenidas y complementar, pero no duplicar, la información contenida en el texto. Siempre se sea apropiado se recomienda utilizar numeración individual para las subfiguras. Véase la Tabla 1 como ejemplo del estilo y formato de una tabla.

Tabla 1. Pié de tabla.

|  |  |
| --- | --- |
| **Tiempo** | **Evento** |
| 15:56:21.194 | Comienzo del escenario |
| 15:57:05.080 | Primer instante de tiempo |
| 15:57:05.236 | Segundo instante |
| 15:57:42.252 | Final |

Coloca los pies de figura debajo de todas las figuras. Si la figura tiene múltiples subfiguras, incluye las etiquetas “a),” “b),” etc., debajo y a la izquierda de cada parte, encima del pie de figura. Por favor, verifica que las figuras y tablas mencionadas en el texto estén incluidas.

El tamaño de las fuentes de las figuras deben ajustarse al tamaño de la fuente en el texto del manuscrito; debe ser legible y no estar borroso o pixelado.

* + 1. Estilos de Figuras

A la hora de crear figuras, hay diversas recomendaciones de formato que deben seguirse:

* No pongas un recuadro alrededor de la figura
* No colorear el fondo de las figuras
* No usar efectos 3D en las figuras
* Siempre incluye leyenda clara y legible en los gráficos
* Evita usar colores para distinguir los datos (por ejemplo, usa puntos y líneas)



Figura 1. Este es un ejemplo de pié de figura.

* 1. Ecuaciones, Números, Símbolos, y Abreviaturas

Las ecuaciones tienen que estar centradas en la columna y numeradas de manera consecutiva, con los números de las ecuaciones en paréntesis, como en Ec. (1). Las ecuaciones se tienen que numerar de manera consecutiva.

A continuación se muestra una ecuación de ejemplo, formateada usando las instrucciones anteriores.

|  |  |
| --- | --- |
| *𝑎𝑏𝐹𝑥𝑑𝑥=2𝜎* | (1) |

Asegúrate de que los símbolo de la ecuación están definidos antes de que aparezca la ecuación, o inmediatamente después. Referencia las ecuaciones como “Ec. (1),” y no “(1)” o “ecuación (1)”, excepto al comienzo de una frase: “Ecuación (1) es.”. Por favor, NO copies las ecuaciones como imágenes de otras aplicaciones.

Define las abreviaturas y los acrónimos la primera vez que se utilicen en el texto. Abreviaturas muy comunes (como TCP, IP, etc…) no es necesario que se definan. No utilices abreviaturas en el título a menos que sea estrictamente necesario.

* 1. Literatura
     1. Referencias en el Texto

La presente sección proporciona ejemplos de los distintos tipos de referencias, de acuerdo con el estilo de publicación de Sego-Bit. Todas las referencias tienen que estar escritas en Times New Roman con tamaño de 10 puntos.

Los trabajos de un solo autor se citan mediante el apellido del autor y el año de publicación. Por ejemplo, “los trabajos tempranos en este tema (Ferrell, 1999)”.

Cuando un trabajo tiene dos autores, siempre se citarán utilizando el apellido de los dos autores unidos mediante “y”. Por ejemplo, “como se ha mostrado (Hyndman y Koehler, 1982)”.

Cuando un trabajo tiene tres, cuatro o más autores, cite únicamente el apellido del primer autor seguido por “y cols.” y el año de publicación. Por ejemplo, “como se muestra en (Vachtsevanos y cols., 2006)”.

* + 1. Formateando la Sección de Referencias

Las referencias deben incluirse al final del artículo siguiendo estas indicaciones:

1. Todas las líneas después de la primera línea de cada referencia deben tener una sangría de 0.25 pulgadas desde el margen izquierdo.
2. Se tienen que invertir los nombres de los autores (el apellido primero); es necesario escribir el apellido y las iniciales del nombre del todos los autores de un trabajo.
3. La lista de referencia tiene que estar ordenada alfabéticamente según el apellido del primer autor.
4. Si hay más de un trabajo del mismo autor, estos se distinguirán entre sí a la hora de referenciarlos mediante el año de publicación. Si se da el caso de que más de un trabajo del mismo autor se ha publicado en el mismo año, se distinguirán unos trabajos de otros con una letra minúscula (empezando por “a”, luego “b”, etc…) justo después del año de publicación.
5. La primera letra de cada palabra en los nombre de las revistas debe ir en mayúscula.
6. Los títulos de las publicaciones deben estar en itálica.
7. No utilizar subrayado en las referencias.

Libros

Este es el formato a utilizar para los libros:

Autor, A. A., & Autor B. B. (Año). *Título del trabajo: el subtítulo también va en itálica*. Localización: Publisher. Libros Editados:

Autor, A. A., & Autor B. B. (Eds.). (Año). *Título del trabajo*. Localización: Publisher. Capítulos en libros editados:

Autor, A. A., & Autor, B. B. (Año). Título del Capítulo. En Editor A., & Editor B. (Eds.), *Título del Libro* (páginas del capítulo). Localización: Publisher.

Artículos en Congresos

Este es el formato a utilizar para los artículos en congresos:

Autor, A. A., & Autor, B. B. (Año). Título del Artículo. *Nombre del Congreso* (números de páginas), mes día-día, lugar de celebración. doi:0000000/000000000000

Artículos en Revistas

Este es el formato a utilizar para los artículos en revistas:

Autor, A. A., & Autor, B. B. (Año). Título del Artículo. *Nombre de la Revista* (números de páginas), número y volumen de la publicación. doi:0000000/000000000000

Tesis doctorales

Este es el formato a utilizar para las Tesis Doctorales:

Autor, A. A., (Año). *Título de la Tesis*. Tesis Doctoral. Nombre de la Universidad, Localización.

1. Conclusiones

Las conclusiones deben revisar los puntos principales del artículo, pero sin replicar el resumen. Se tiene que discutir la importancia del trabajo y sugerir sus aplicaciones y futuras extensiones. La sección de conclusiones será la última sección numerada del artículo. El apéndice (si existe), los agradecimientos (si existen), la nomenclatura (si existe), y las referencias, tienen que estar incluidos en el artículo sin numerar.

Agradecimientos

La sección de agradecimientos es opcional. En el caso de poner agradecimientos, hacerlo en un sólo párrafo.

Nomenclatura

*a* aceleración

*Cp* coeficiente de presión

*m* masa

*T* temperatura

*P* presión

*f, g* funciones genéricas

*h* altura

Esta sección también será opcional.

Referencias

Estos son algunos ejemplos de referencias:

Chen, W., (1991). *Nonlinear Analysis of Electronic Prognostics.* Tesis Doctoral. The Technical Univerisity of Napoli, Nápoles, Italia.

Ferrell, B. L. (1999), JSF Prognostics and Health Management. *Proceedings of IEEE Aerospace Conference*. Del 6 al 13 de marzo, Big Sky, MO. doi: 10.1109/AERO.1999.793190

Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, vol. 22, pag. 679-688. doi:10.1016/ j.ijforecast.2006.03.001

International Standards Organization (ISO) (2004). Condition Monitoring and Diagnostics of Machines - Prognostics part 1: General Guidelines. En ISO, *ISO13381-1:2004(e). vol. ISO/IEC Directives Part 2, I. O. f. S.* (ISO), (p. 14). Ginebra, Suiza: International Standards Organization.

Vachtsevanos, G., Lewis, F. L., Roemer, M., Hess, A., & Wu, B. (2006). *Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering system*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Biografías



**Primer Autor** (y el resto de autores) pueden incluir su biografía al final del artículo. La biografía puede contener el lugar y/o la fecha de nacimiento. Después, la educación académica del autor. Los grados/títulos tienen que listarse indicando el tipo de título, en qué campo se ha obtenido, en qué año, en qué institución, la ciudad en la que está, y el país. La experiencia laboral también puede incluirse en este párrafo. Los intereses de investigación actuales (y los pasados) se deben poner al final del párrafo. Finalmente, se listará la pertenencia a sociedades científicas y los premios/becas obtenidos. Si se proporciona fotografía, ésta se colocará en la parte superior izquierda de la biografía.

**Segundo Autor** usará este formato si no proporciona fotografía.

Apéndice

Si el artículo tiene apéndice, este debe aparecer al final del artículo y después de las biografía. Esta sección también es opcional.