

Nuevos métodos de selección de prototipos para la clasificación en espacios de disimilitud estándares y generalizados

ENTIDAD EJECUTORA PRINCIPAL: Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada (División de Investigaciones CENATAV, DATYS Soluciones Tecnológicas)

AUTORA PRINCIPAL: Yenisel Plasencia Calaña, División de Investigaciones CENATAV, DATYS Soluciones Tecnológicas

OTROS AUTORES: Edel García Reyes, División de Investigaciones CENATAV, DATYS Soluciones Tecnológicas, Robert Pieter Wilhelm Duin, Universidad Tecnológica de Delft (TUDelft), Holanda

COLABORADORES CIENTÍFICOS: Mauricio Orozco Alzate, Universidad Nacional de Colombia (Unal), Colombia; Marco Loog, TUDelft, Holanda; Veronika Cheplygina, TUDelft, Holanda; Heydi Méndez Vázquez, CENATAV; David Tax, TUDelft, Holanda; Yan Li, TUDelft, Holanda; Rainer Larin Fonseca, CENATAV

OTRA ENTIDAD PARTICIPANTE: Universidad Tecnológica de Delft (TUDelft), Holanda

AUTORA PARA LA CORRESPONDENCIA:

Yenisel Plasencia Calaña

Dirección: 7aA #21406 e/ 214 y 216, Reparto Siboney, Playa, C.P. 12200

Fax: (+) 537.273.0045

E-mail: yplasencia@cenatav.co.cu

RESUMEN:

Este trabajo aborda el problema del reconocimiento automático de objetos a partir de una representación computacional de los mismos, el cual se enmarca en el campo de reconocimiento de patrones. El trabajo se centra en proponer un conjunto de mejoras para la representación de objetos basada en disimilitudes, de manera que se logre una representación más eficiente y más eficaz. Al mejorar la representación, se obtienen mejores soluciones a un conjunto de problemas variados que fueron abordados como el reconocimiento de rostros, de textura, de cáncer/no cáncer a partir de imágenes médicas, de dígitos manuscritos o en imágenes de video-protección, de formas, etc. La línea de clasificación mediante disimilitudes tratada es la clasificación en espacios de disimilitud, donde cada objeto se representa como un vector de disimilitudes con un conjunto de objetos prototipos que sea lo más representativo posible para el problema. El conjunto de mejoras que proponemos se dividen en tres grupos esencialmente, todos están encaminados a crear y/o seleccionar el conjunto de

objetos prototipos. El primer grupo abarca un conjunto de métodos de selección de prototipos basados en algoritmos genéticos (AGs), donde su novedad radica en los criterios de selección que proponemos y en el diseño e implementación de los AGs que permiten que sean escalables a bases de datos de millones de objetos en orden lineal. El segundo grupo comprende varios métodos que generalizan la noción de prototipo de objetos a modelos de los objetos. El tercer grupo de métodos incluye la creación de representaciones compactas a partir de espacios de disimilitud extendidos con dos propuestas fundamentales: usar disimilitudes asimétricas y usar disimilitudes multiescala. Se comprobó la efectividad de todos los métodos en bases de datos internacionales, y nuestro objetivo es que estos resultados se introduzcan en los sistemas de reconocimiento automático propios para la defensa y el orden interior de nuestro país dentro del MININT. La novedad científica de este trabajo está avalada principalmente por 10 artículos publicados en revista y en memorias de eventos de impacto internacional y especializados en el tema, así como por la Tesis de Doctor en Ciencias Técnicas de la autora principal.

COMUNICACIÓN CORTA DEL RESULTADO

1. Descripción de la problemática existente

El Reconocimiento de Patrones (del inglés Pattern Recognition) y el Aprendizaje por Computadora (del inglés Machine Learning) son áreas de investigación estrechamente relacionadas que han tenido un enorme auge en los últimos años debido a las soluciones que brindan a problemas reales en diversas esferas. El objetivo principal de un sistema automático de reconocimiento de patrones es lograr asignar la categoría o clase correcta a un objeto dado, esto se puede lograr a partir de la ejecución de tres etapas fundamentales: detección y pre-procesamiento, representación y clasificación. Mientras mejor desempeño exista en cada una de las etapas que componen el sistema, mejor será el desempeño final para la tarea en cuestión. Por tanto, numerosos estudios se centran en mejorar cada una de las etapas que componen el sistema. En este trabajo de tesis doctoral nos centramos en mejorar la etapa de representación. Los problemas fundamentales que existen en esta etapa están relacionados con la alta variabilidad intraclase y el alto solapamiento entre las clases, ambas estrechamente relacionadas y que influyen en que los clasificadores que se usen sobre la representación fallen en asignar correctamente las clases a los objetos. Idealmente, se desea que las representaciones de los objetos de la misma clase permanezcan lo más cerca posible (clases compactas) mientras que los objetos de diferentes clases permanezcan lo más lejos posible aumentando así el poder discriminativo de la representación.

El enfoque estándar para la representación de objetos para el reconocimiento de patrones es la representación en espacios vectoriales [1] o representación vectorial, sin embargo, la misma presenta generalmente los problemas

mencionados anteriormente ya que al discretizar los objetos es posible perder información relevante. Paralelamente se desarrollan otros tipos de representaciones como es el caso de la representación estructural o la representación basada en disimilitudes [2] que permiten abordar problemas para los cuales la representación basada en vectores de características puede no ser adecuada. En el caso de la representación basada en disimilitudes se plantea que ésta puede ser más adecuada para representar los objetos porque la noción de disimilitudes, distancias o similitudes juega un papel fundamental en la formación de las clases. Las diferencias o semejanzas pueden medirse teniendo en cuenta el objeto como un todo sin necesidad de discretizarlo, y de esta manera se pueden evitar los problemas relacionados con la representación vectorial. La información de proximidad es un enlace natural entre las propiedades de los objetos y su información de membresía a clases, ya que una clase se puede ver como un conjunto de objetos similares. En nuestra investigación proponemos nuevos métodos para lograr representaciones basadas en disimilitudes más discriminativas y/o más eficientes desde el punto de vista computacional.

2. Novedad Científica

Además del estudio del marco general de aprendizaje a partir de disimilitudes para abordar problemas de reconocimiento de patrones, proponemos nuevos métodos para lograr una representación basada en disimilitudes optimizada, en el sentido de lograr el mejor compromiso posible entre eficacia y eficiencia, de manera que se logre una mayor discriminación entre las clases, y el proceso se ejecute en el menor tiempo posible. La representación basada en disimilitudes tiene tres variantes fundamentales para la clasificación, el clasificador del vecino más cercano (1-NN), los clasificadores en espacios de disimilitud [2] y los clasificadores en espacios Pseudo-Euclidianos [2]. La variante más prometedora desde el punto de vista del compromiso eficacia/eficiencia es la clasificación en espacios de disimilitud donde la representación se genera a partir de una comparación con un conjunto de objetos llamados prototipos, que idealmente deben ser "representativos" para el problema. A partir de esta comparación se genera un espacio postulado como Euclidiano, donde cada objeto es representado por un vector que contiene las disimilitudes con los objetos prototipos. Para lograr buenos resultados de clasificación la medida de comparación debe ser diseñada o generada de manera que sea robusta para el problema, incorpore conocimiento experto sobre el mismo y logre discriminar entre las clases. Además, mientras menor sea el conjunto de prototipos, más compacta será la representación obtenida. A continuación se describe cada uno de los resultados teóricos.

1. En este trabajo proponemos un conjunto de métodos de selección de prototipos basados en algoritmos genéticos [3,4] que tienen la característica de ser escalables a grandes volúmenes de datos. Las ventajas de los mismos incluyen la reducción del tamaño de almacenamiento de los vectores creados a partir de la representación

mediante disimilitudes sin pérdida significativa en la clasificación usando esta representación, y la posibilidad de seleccionar estos prototipos en conjuntos de hasta millones de objetos en orden lineal. Para esto se proponen dos criterios, uno la maximización del peso del árbol abarcador de costo mínimo que se genera entre los prototipos candidatos y el otro la maximización de la cantidad de etiquetas que coinciden entre los prototipos y los objetos más cercanos a ellos. Además, se diseña el algoritmo genético con características que inducen una convergencia rápida del mismo sin perder en la calidad del resultado. Los experimentos demostraron la superioridad de las diferentes variantes de criterios y métodos propuestos.

2. Se proponen además un conjunto de métodos que exploran el uso de modelos como prototipos para lograr representaciones mucho más compactas, empleando modelos como líneas de características [5] y grupos de objetos [6] con diferentes maneras de medir disimilitudes entre los objetos y los modelos: distancia mínima, máxima, promedio y distancia al subespacio generado por los objetos en el grupo. Se comprobó que hay estrecha relación entre la distribución del conjunto de datos en el sentido espacial y el tipo de modelo más adecuados para ellos. Las transformaciones no lineales que se obtienen al usar estos modelos como prototipos en la representación basada en disimilitudes son semejantes a las transformaciones no lineales que se obtienen en enfoques basados en características usando redes profundas o redes de convolución, las cuales son el estado del arte en muchas aplicaciones. Los resultados experimentales demostraron un superior desempeño de las representaciones basadas en modelos en vez de objetos para espacios de la misma dimensión, a un costo computacional sólo ligeramente superior al de los enfoques que seleccionan objetos individuales como prototipos.
3. Por último, se proponen métodos capaces de lidiar con disimilitudes asimétricas [7,8] y multiescala [9], de manera que el desempeño de los métodos de clasificación sea superior que el de los enfoques estándares que no hacen uso de la potencial asimetría o carácter multiescala de las disimilitudes. La asimetría en las disimilitudes usualmente es descartada mediante métodos de simetrización, sin embargo nosotros proponemos no descartarla ya que esta pudiera contener información útil para la clasificación, en dependencia de la causa de origen de la asimetría. En el caso de disimilitudes multiescala, proponemos un método que es capaz de hacer uso de esta información con un costo computacional tan bajo como el de un método que use información de una sola escala. Esto se logra mediante un método de selección de prototipos que tiene en cuenta las respectivas escalas donde los prototipos presentan un mayor poder de representación. Se comprobó que hacer uso de estas características de manera inteligente es beneficioso en términos de eficacia en la clasificación, sin perder nada

en la eficiencia del método.

A partir de los estudios desarrollados, la investigación continúa en el tema del uso de distancias o similitudes aprendidas automáticamente para cada problema, de manera que se logre una representación más discriminativa, donde un problema al cual le proporcionamos una solución de ésta índole fue al reconocimiento automático de retratos hablados [10]. Los trabajos futuros se centrarán en continuar el desarrollo de métodos escalables a grandes volúmenes de datos y de métodos que combinen representaciones en espacios de disimilitud con distancias aprendidas automáticamente. A partir del análisis del desempeño de ésta representación detectamos aplicaciones de reconocimiento automático donde los resultados obtenidos son superiores a los alcanzados con otras representaciones: reconocimiento de sustancias químicas, reconocimiento de rostros a partir de imágenes de baja resolución, reconocimiento de retratos hablados, reconocimiento de textura, reconocimiento de imágenes médicas, y en general de objetos donde se usen medidas de comparación robustas diseñadas por expertos en el tema o aprendidas automáticamente por métodos de aprendizaje.

3. Impacto del resultado

Los aportes de este trabajo contribuyen a avanzar el conocimiento en el área de representación de objetos para el reconocimiento de patrones tanto a nivel de nuestro país como a nivel mundial. El impacto de la investigación a nivel nacional se demuestra en los siguientes indicadores. Algunos de los métodos propuestos en esta investigación están siendo usados en el sistema de reconocimiento de rostros desarrollado por nuestro grupo de investigación implantado en el aeropuerto José Martí y que actualmente se comercializa a países como Bolivia, Argentina y Nicaragua. Los métodos de selección de prototipos usados en ese contexto permiten acelerar el proceso de reconocimiento de personas a partir de imágenes de rostros al seleccionar por cada identidad presente en la base de datos sus imágenes más representativas a partir de las distancias entre las mismas. El impacto del aporte en este sentido se manifiesta en el hecho de que estos métodos permiten reducir significativamente el tiempo de la búsqueda afectando al mínimo posible la eficacia del reconocimiento.

El impacto del uso de disimilitudes en problemas de reconocimiento automático va más allá del hecho de proporcionar soluciones superiores en eficacia y eficiencia a las que existen en la actualidad. Su uso implica un cambio de paradigma en la representación que está más cercano a la percepción humana acerca de lo que constituyen las clases y que potencialmente presenta infinitas perspectivas. Las disimilitudes además presentan la ventaja de disminuir la brecha entre las diferentes representaciones que existen como son las estructural y la vectorial. Esto es debido a su característica de poder ser calculadas sobre cualquier representación intermedia o sobre los objetos directamente. Al ser aplicada por ejemplo sobre representaciones estructurales,

permite usar la enorme cantidad de herramientas diseñadas para representaciones vectoriales y así resolver el problema latente de la carencia de herramientas automáticas para el análisis de grafos y otras estructuras de representación. Además, el uso de disimilitudes proporciona representaciones intrínsecamente compactas que permiten lograr eficiencia y a la vez eliminar el problema de la maldición de la dimensionalidad que plantea que el número de objetos o muestras necesarios para entrenar un clasificador crece exponencialmente con el número de dimensiones de la representación. Esto afecta significativamente el desempeño en problemas con pocas muestras y muchas dimensiones en la representación.

Además, en otras tareas del MININT los métodos propuestos permiten representar problemas de reconocimiento de modo que los resultados de clasificación que se logran son superiores a los logrados incluso a nivel mundial. Algunos de los problemas de clasificación donde los resultados comprobados experimentalmente en bases de datos internacionales mostraron la superioridad de nuestros métodos con respecto a lo mejor que existía hasta el momento fueron: el reconocimiento de rostros a partir de imágenes de baja resolución y el reconocimiento de retratos hablados, en las modalidades tanto de dibujo como de generados por software. En el caso de *reconocimiento de rostros de baja resolución* los métodos propuestos permiten una solución automática que se puede usar en tareas de enfrentamiento en cualquier contexto de videoprotección donde las imágenes sean de baja resolución, lo cual puede suceder por las características de la cámara o simplemente porque la persona se encuentra lejos de la cámara. En el caso de *reconocimiento de retratos hablados* la solución propuesta permitirá que el Ministerio cuente con una herramienta automática que a partir de un retrato hablado puede recuperar las personas más similares al mismo según sus imágenes de rostro, incluso con una alta probabilidad de que la persona real se encuentre entre los primeros resultados según las similitudes.

La novedad de estos métodos está avalada por la aceptación en eventos y revistas internacionales de de impacto de los artículos donde se describen los mismos. Estos artículos deben transitar por un proceso de revisión a ciegas por revisores internacionales asignados por un comité de manera que los revisores conozcan de los temas, y una de las principales características que revisan estos revisores es la novedad. Debido a esto, la publicación de estos artículos demuestra el impacto de los resultados obtenidos también a nivel mundial. Los resultados de esta investigación constituyen la base teórica del conocimiento en el campo del reconocimiento de patrones para aplicaciones dirigidas a la videoprotección y al reconocimiento en grandes volúmenes de datos, que son necesidades actuales del Ministerio del Interior. Específicamente, los métodos propuestos proveen una solución a los problemas ministeriales de la aceleración del reconocimiento de rostros en grandes volúmenes de datos, el reconocimiento de rostros a partir de imágenes de baja resolución a partir de video, y el reconocimiento de retratos hablados así como de otras potenciales aplicaciones como es el caso de datos multiescala que puede permitir un análisis más

completo de los datos. Esto permite incorporar conocimiento propio a nuestros sistemas y evitar inversiones en sistemas extranjeros de altos costos de compra y soporte, que muchas veces ni siquiera se venden a nuestro país por el bloqueo.

Los resultados de esta investigación relacionados con los métodos de selección y actualización de plantillas de rostros para acelerar la búsqueda en grandes volúmenes de datos ya han sido introducidos en la plataforma multibiométrica de DATYS. Los métodos de reconocimiento de retrato hablado tienen como proyección su introducción en la práctica en el 2017, y los métodos aplicados en el reconocimiento de imágenes de rostros de baja resolución tienen como proyección su introducción en el 2017 en el sistema Xyma Vision que desarrolla la empresa DATYS para la videoprotección como parte de los métodos de reconocimiento de rostro a partir de video.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jain, A., Duin, R., Mao, J.: Statistical pattern recognition: a review. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 22(1) (Jan 2000) 4–37
2. Pekalska, E., Duin, R.P.W.: *The Dissimilarity Representation for Pattern Recognition: Foundations and Applications (Machine Perception and Artificial Intelligence)*. World Scientific Publishing Co., Inc., River Edge, NJ, USA (2005)
3. **Yenisel Plasencia-Calaña**, Edel Garcia Reyes, Mauricio Orozco Alzate, Robert P. W. Duin. Prototype Selection for Dissimilarity Representation by a Genetic Algorithm. *Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR'10)*, ISBN: 978-1-4244-7542-1.
4. **Yenisel Plasencia-Calaña**, Mauricio Orozco-Alzate, Heydi Méndez-Vázquez, Edel García-Reyes, Robert P. W. Duin. Towards Scalable Prototype Selection by Genetic Algorithms with Fast Criteria. In: *Joint IAPR International Workshop on Statistical Techniques in Pattern Recognition (SPR 2014), Structural, Syntactic and Statistical Pattern Recognition S+SSPR 2014, August 20- 22, 2014*. Joensuu, Finland. Pasi Franti, et al. (Eds.), LNCS, Vol. 8621, 2014, pp. 343-352. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2014.
5. **Yenisel Plasencia-Calaña**, M. Orozco-Alzate, E. Garcia-Reyes, and Robert P. W. Duin. Selecting feature lines in generalized dissimilarity representations for pattern recognition. ***Digital Signal Processing***, vol. 23, no. 3, 2013, 902-911.
6. **Yenisel Plasencia-Calaña**, Mauricio Orozco-Alzate, Edel García-Reyes, and Robert P. W. Duin. Towards Cluster-Based Prototype Sets for Classification in the Dissimilarity Space. ***CIARP 2013***, Part I, J. Ruiz-Shulcloper and G. Sanniti di Baja (Eds.), LNCS 8258, pp. 294–301.

- Springer, Heidelberg (2013)
7. **Yenisel Plasencia-Calaña**, Edel Garcia Reyes, Robert P. W. Duin, and Mauricio Orozco-Alzate. On Using Asymmetry Information for Classification in Extended Dissimilarity Spaces. **CIARP 2012**. Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications LNCS 7441, 2012, pp 503-510. ISBN: 978-3-642-33275-3
 8. **Yenisel Plasencia-Calaña**, Veronika Cheplygina, Robert P. W. Duin, Edel García-Reyes, Mauricio Orozco-Alzate, David M J Tax, Marco Loog. On the Informativeness of Asymmetric Dissimilarities, Similarity-Based Pattern Recognition, Second International Workshop, **SIMBAD 2013**, Edwin Hancock and Marcello Pelillo (Eds.). LNCS 7953, pp. 75–89. Springer, Heidelberg (2013)
 9. **Yenisel Plasencia Calaña**, Yan Li, Robert P. W. Duin, Mauricio Orozco-Alzate, Marco Loog, and Edel García-Reyes. A Compact Representation of Multiscale Dissimilarity Data by Prototype Selection. **CIARP 2016**.