

Universidad de la Habana
Facultad de Matemática y Computación



Test para detectar patrones DIAG y LINE en las contraseñas gráficas de PassPoint, basado en el promedio de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay, condicionado al número de triángulos

Trabajo de Diploma presentado en opción al título
de Licenciado en Ciencias de la Computación

Autor: Ovidio Navarro Pazos

Tutores: M.Sc. Lisset Suárez Plasencia
Dr.C. Carlos Miguel Legón Pérez
M.Sc. Joaquín A. Herrera Macías

La Habana, Cuba
9 de enero de 2025

Resumen

Un método de autenticación que difiere de las contraseñas alfanuméricas tradicionales es la autenticación gráfica. Una de las técnicas más valiosas dentro de este campo es PassPoint, conocida por su equilibrio entre seguridad y usabilidad. Sin embargo, esta técnica puede ser vulnerada si el usuario sigue patrones predefinidos al seleccionar los cinco puntos en la imagen, como los patrones DIAG y LINE. Investigaciones previas han destacado la utilidad de las características de las triangulaciones de Delaunay para extraer información de estos puntos que constituyen la contraseña, siendo el AMADT (promedio de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay) una de estas características relevantes.

En este estudio, se comparan contraseñas gráficas generadas por la elección aleatoria de cinco puntos en una imagen con contraseñas que siguen patrones específicos del tipo DIAG y LINE. La comparativa se basa en segmentar las contraseñas que siguen estos patrones, considerando el número de triángulos en sus triangulaciones de Delaunay (3, 4 o 5). Experimentalmente se demuestra que, para cada número de triángulos, las contraseñas con patrones DIAG y LINE tienen un AMADT más alto que aquellas generadas con puntos aleatorios. Estudios previos respaldan este resultado y sugieren la viabilidad de un test de aleatoriedad espacial para identificar contraseñas gráficas débiles que sigan los patrones DIAG y LINE, utilizando el AMADT como estadístico. Se estiman las distribuciones más adecuadas para cada número de triángulos y se lleva a cabo el test para evaluar los errores de tipo I y tipo II. La relevancia de este test radica en la similitud de los resultados con pruebas previas. Sería crucial determinar si estos hallazgos son redundantes o complementarios para mejorar la seguridad del sistema de autenticación gráfica PassPoint.

Abstract

One authentication method that differs from traditional alphanumeric passwords is graphical authentication. One of the most valuable techniques within this field is PassPoint, known for its balance between security and usability. However, this technique can be breached if the user follows predefined patterns when selecting the five dots in the image, such as the DIAG and LINE patterns. Previous research has highlighted the usefulness of Delaunay triangulation features to extract information from these points that constitute the password, with AMADT (average of the maximum angles of the Delaunay triangles) being one of these relevant features.

In this study, graphical passwords generated by randomly choosing five points in an image are compared with passwords that follow specific patterns of the DIAG and LINE type. The comparison is based on segmenting the passwords that follow these patterns, considering the number of triangles in their Delaunay triangulations (3, 4 or 5). Experimentally it is shown that, for each number of triangles, passwords with DIAG and LINE patterns have a higher AMADT than those generated with random dots. Previous studies support this result and suggest the feasibility of a spatial randomization test to identify weak graphical passwords following DIAG and LINE patterns, using AMADT as a statistic. The best-fitting distributions for each number of triangles are estimated and the test is carried out to assess type I and type II errors. The relevance of this test lies in the similarity of the results with previous tests. It would be crucial to determine whether these findings are redundant or complementary to improve the security of the PassPoint graphical authentication system.

Índice general

Introducción	6
1. Marco Teórico	9
1.1. PassPoint	9
1.2. Patrones suaves	10
1.3. Triangulaciones de Delaunay	11
1.4. Test de detección de patrones DIAG y LINE en el sistema PassPoint basado en los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay	13
2. Metodología	14
3. Resultados	15
4. Discusión	16
5. Conclusiones y Recomendaciones	17
Bibliografía	17
A. Anexo A	21

Índice de figuras

1.1. PassPoint.	10
1.2. DIAG-LINE.	11
1.3. Triangulación no cumple condición de Delaunay	12
1.4. Triangulación sí cumple condición de Delaunay	12
1.5. Triangulación de Delaunay para 10 puntos	12

Índice de Tablas

1.1. Alfanuméricas vs Gráficas	10
--	----

Introducción

En la actualidad, la gran mayoría de los usuarios tienden a ignorar las recomendaciones de seguridad al momento de crear sus contraseñas. Es común observar el uso por los usuarios de contraseñas cortas y cargadas de información personal, lo cual facilita su memorización, pero aumenta significativamente su vulnerabilidad frente a ataques de fuerza bruta o de diccionario [1, 2, 3, 4].

Debido a esta inherente contradicción entre facilidad y seguridad que presentan las contraseñas alfanuméricas, se han desarrollado nuevos métodos alternativos de autenticación, entre los que se encuentran los métodos basados en contraseñas gráficas. Este nuevo enfoque surge por la capacidad humana de recordar patrones visuales en una imagen con mayor facilidad que largas cadenas de caracteres alfanuméricos aleatorios. En este tipo de contraseñas, el usuario debe recordar una imagen o partes específicas de ella mediante la selección de determinados puntos.

El sistema PassPoint[1] es un método de autenticación gráfica que destaca por su usabilidad y seguridad. Este método consiste en que el usuario seleccione en la fase de registro cinco puntos de una imagen elegida por el usuario o dada por el sistema. Durante la autenticación, el usuario debe hacer click en una determinada vecindad y en el mismo orden de los puntos seleccionados en la fase de registro. Una de las debilidades de este sistema es que los usuarios tienden a seleccionar los Hotspots[4](puntos más probables a seleccionar en una imagen), por esta razón las imágenes usadas en el sistema tienen que poseer cientos de Hotspots dispersos de manera homogénea. Además existen un conjunto de patrones no aleatorios que tienden a seguir los usuarios y su combinación con los Hotspots sería un grave error pues hace que la contraseña sea muy susceptible a ataques de diccionarios. Estos patrones incluyen formas específicas como Z, W, C, V, patrones agrupados, regulares y los que más suelen seleccionar los usuarios que son los patrones DIAG o LINE[5](formas de diagonales o línea)

La tendencia de los usuarios a crear patrones entre los puntos seleccionados, ya sea de manera independiente o en combinación con Hotspots, constituye una debilidad importante. Por ello, resulta fundamental desarrollar tests que detecten la existencia de estos patrones en las contraseñas antes de su uso, ya que contribuirían significativamente a mejorar la seguridad de la técnica PassPoint.

A lo largo de los últimos años, se han realizado pocas investigaciones enfocadas en este tema. Entre los métodos más comunes para evaluar la Aleatoriedad Espacial Completa se encuentran: el test de la función K-Ripley, el test de la función G, que analiza la distancia al vecino más cercano, y el test de la función F, que se centra en la distancia de espacio vacío. Sin embargo, en [6, 7] se demuestra que, en el contexto de PassPoint, dos de estos métodos son ineficaces para detectar contraseñas gráficas compuestas por patrones agrupados. Por otro lado, en [7, 8] se evidencia que los tres tests no logran identificar ni el agrupamiento ni la regularidad en las contraseñas de este escenario. Hasta ahora, en la bibliografía revisada, se han encontrado 4 tests efectivos [7, 9, 10, 11] para identificar

contraseñas no aleatorias que presentan patrones agrupados o regulares en el contexto de PassPoint. Estos métodos se basan, en el caso de [9], en el promedio de los perímetros de los triángulos de Delaunay, en [7] en la distancia media entre cinco puntos, para el caso de [10] es una aplicación conjunta de los tests [7, 9], y [11] basado en el perímetro de la envoltura convexa. De estos tests [11] es el más efectivo encontrado en la literatura y el segundo más eficiente después de [7].

Teniendo en consideración [12], las propiedades de una triangulación de Delaunay brindan la capacidad de obtener información acerca de la interrelación entre puntos, se ha empleado como una herramienta en la mitad de la década de 1980 para identificar configuraciones de puntos. En el estudio realizado por Chiu en [12], se emplearon varias de estas propiedades para reconocer la agrupación y la regularidad entre los puntos. Específicamente, la característica del “ángulo máximo de un triángulo de Delaunay”, según la literatura revisada, nunca había sido utilizada previamente para identificar otro tipo de configuraciones además de las agrupadas o regulares. No obstante, dado que los patrones DIAG y LINE se distinguen por presentar un ángulo cercano a 0° entre dos segmentos consecutivos o en otras palabras que las curvas formadas entre los 5 puntos sean curvas suaves a pedazos, es decir, que carezca de picos. De ahí que, en [13] se propuso y demostró que la media de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay generados a partir de los puntos de las contraseñas gráficas de PassPoint es un estadígrafo eficaz para detectar la presencia de patrones DAIG y LINE, incluso con un número limitado de puntos. En [5] se entendía como el ángulo formado entre dos segmentos consecutivos, el menor de los dos ángulos que forman la intersección de la prolongación de los segmentos de una contraseña. En este trabajo se referirá al mayor de estos dos ángulos como el ángulo adyacente entre dos segmentos .

Según los resultados obtenidos en [13], la distribución del promedio de los triángulos de Delaunay de las contraseñas gráficas aleatorias, sin tener en cuenta el número específico de triángulos sigue una distribución Normal, por lo que se plantea la hipótesis de que cada una de las distribuciones de los conjuntos cuyas triangulaciones contienen 3, 4 o 5 triángulos también distribuirán Normal pero con diferentes parámetros. Suponiendo que esta hipótesis se cumpla, dada una contraseña ingresada por un usuario se verificará a que distribución pertenece y se aplicará el test con la distribución adecuada. Esto debería mejorar el ajuste de los datos a los test de bondad de ajuste y aumentar la efectividad del test.

Problema de investigación:

¿Cómo detectar contraseñas gráficas que sigan patrones DIAG y LINE en el sistema de autenticación gráfica PassPoint, teniendo en cuenta el número de triángulos de Delaunay?

Objeto de estudio:

Número de triángulos de las triangulaciones de Delaunay en autenticación gráfica

Campo de acción:

Detección de contraseñas gráficas que sigan patrones DIAG y LINE en el escenario PassPoint utilizando el número de triángulos de las triangulaciones de Delaunay.

Hipótesis:

Es posible detectar contraseñas gráficas que sigan patrones DIAG y LINE en el sistema de autenticación gráfica Passpoint, teniendo en cuenta el número de triángulos de

las triangulaciones de Delaunay.

Idea de la solución:

Debido a que en la bibliografía existe un test capaz de detectar patrones DIAG y LINE en las contraseñas gráficas de PassPoint basado en el promedio de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay. Se propone construir un test para detectar este tipo de patrones en las contraseñas gráficas en dicho escenario, pero teniendo en cuenta el número de triángulos de la triangulación de Delaunay correspondiente. Con el fin de llegar a comparar ambos test en cuanto a efectividad, y realizar la aplicación conjunta de ambos si es posible para lograr una mayor efectividad en la detección de estos tipos de patrones.

Objetivos:

Objetivos generales: Detectar las contraseñas gráficas que siguen patrones DIAG o LINE en PassPoint para cada número de triángulos en una triangulación de Delaunay.

Objetivos específicos: Para cada número de triángulos en las triangulaciones de Delaunay de 5 puntos:

- Encontrar cómo distribuye el promedio de los ángulos máximos de la triangulación de Delaunay en contraseñas aleatorias.
- Construir un test de aleatoriedad basado en la distribución del promedio de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay en contraseñas aleatorias.
- Realizar un análisis estadístico con las estimaciones de los errores tipo I y tipo II cometidos para validar.
- Realizar una comparación con los resultados obtenidos en [13].

Estructura de la tesis

Este trabajo estará dividido en dos capítulos.

En el primero se muestra la en que consiste la técnica de autenticación gráfica PassPoint, así como sus ventajas y desventajas, se describen los patrones comunes que los usuarios suelen seguir al crear sus contraseñas, destacando los patrones DIAG y LINE, se definen las triangulaciones de Delaunay y sus propiedades. Por último se realiza un resumen de [13], el cual demuestra que el promedio de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay es un estadígrafo eficaz para detectar patrones DIAG y LINE en contraseñas de PassPoint.

En el segundo capítulo se investiga el promedio de los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay en función del número de triángulos que conforman dicha triangulación. Tomando en cuenta el tamaño estándar de las imágenes(1920x1080) para cada posible número de triángulos presentes en las triangulaciones de Delaunay de las contraseñas de 5 puntos(3,4 o 5) se estiman las mejores distribuciones a las que se ajustan y se propone un test de detección de patrones DIAG y LINE en PassPoint para estimar los errores de tipo I y tipo II. Posteriormente, se realiza una comparación de los resultados obtenidos y los hallazgos presentados en el estudio[13].

1. Marco Teórico

A medida que las amenazas cibernéticas evolucionan, también lo hacen los métodos de autenticación utilizados para proteger los datos sensibles. Este capítulo se centrará en explorar los principios teóricos que sustentan la autenticación gráfica, específicamente el sistema PassPoint, y los patrones que los usuarios tienden a seguir al crear sus contraseñas. Al comprender estos conceptos, se podrá apreciar mejor la vulnerabilidad inherente a los sistemas de autenticación y la necesidad de desarrollar métodos más robustos para mitigar riesgos.

1.1. PassPoint

La técnica PassPoint diseñada por Wiedenbeck en [1] destaca entre los sistemas de autenticación gráfica del tipo cuad-recall por su usabilidad y seguridad (Rodríguez et al., 2018, comparación pag 3). Esta técnica consiste en que en su fase de registro el usuario debe seleccionar 5 puntos (píxeles) de una imagen ya sea seleccionada por el mismo usuario o dada por el sistema y en el proceso de autenticación este debe hacer click en el mismo orden y en determinada vecindad o región de tolerancia de los puntos escogidos en la fase de registro. Wiedenbeck su investigación en [1] asegura que las imágenes más deseadas para el proceso debían tener contenido que tuviera significado para el usuario por lo que debían tener escenas concretas, otro requisito es que la imagen seleccionada posean cientos de HOTSPOTS (puntos más probables a seleccionar por el usuario o mejor llamados puntos calientes) diseminados de forma homogénea, pero existe el problema de que en el momento de autenticación el usuario no seleccione exactamente el mismo punto y a esto se le llaman errores de discretización, esta se encarga de establecer una tolerancia alrededor de cada punto, por tanto esto disminuye el espacio de contraseñas y aumenta información relevante a la hora de los ataques de diccionarios. Se puede encontrar un análisis sobre la relevancia del mecanismo de discretización en los sistemas de contraseñas gráficas en [14, 15, 16]. Por otro lado, en [14, 15, 16, 17] se describen los distintos métodos de discretización que se han desarrollado hasta ahora.

En el trabajo [18] se presenta un método que permite determinar si una imagen es adecuada para ser utilizada en esta técnica. Este método conduce al desarrollo de un modelo diseñado para identificar las regiones de una imagen que los usuarios tienen mayor probabilidad de elegir como parte de sus contraseñas. Según sus experimentos, el modelo puede predecir puntos de interés (Hotspots) con una precisión de entre el 70 % y el 80 %, aunque el tamaño de la muestra utilizada es limitado. La aplicación de esta técnica en el sistema PassPoint sería especialmente útil para mejorar la confiabilidad en la asignación de imágenes. Por otro lado, en el estudio [19] se demostró que incluso un pequeño cambio en la imagen puede influir en la elección de contraseñas por parte del usuario durante la fase de registro, afectando así su nivel de seguridad.

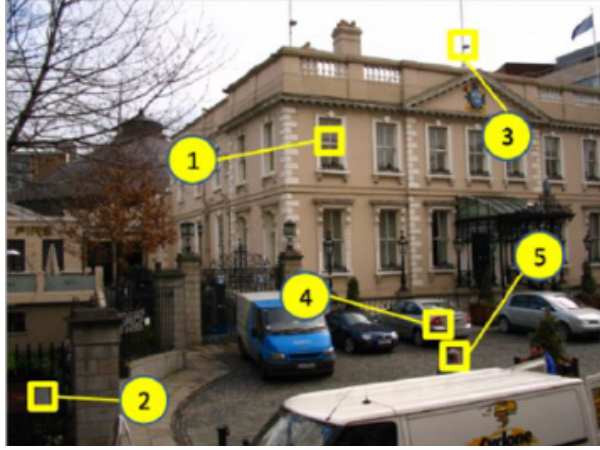


Figura 1.1: PassPoint.

En relación al espacio de contraseñas, según [1], no sería necesario utilizar muchos puntos para crear una contraseña segura. Con solo 5 o 6 puntos (en una imagen de 1024x725), se podría lograr mayor seguridad que con contraseñas de 8 caracteres dentro de un alfabeto estándar de 64 símbolos. En la tabla 1.1, se muestra una comparación entre los espacios de contraseñas gráficas y alfanuméricas, considerando factores como el alfabeto, la longitud de la contraseña, la tolerancia y el tamaño de la imagen. Se observa que, con 5 puntos y un tamaño de imagen razonable, las contraseñas gráficas mantienen un espacio de clave superior al de las contraseñas alfanuméricas.

	Tamaño de imagen	Tamaño de la cuadrícula (píxeles)	Tamaño del alfabeto/ No.Cuadrículas	Largo/No. puntos de clic	Tamaño de espacio de contraseñas
Alfanumérica	N/A	N/A	64	8	2.8×10^{14}
Alfanumérica	N/A	N/A	72	8	7.2×10^{14}
Alfanumérica	N/A	N/A	96	8	7.2×10^{15}
Gráficas	451x331	20x20	373	5	7.2×10^{12}
Gráficas	1024x752	20x20	1925	5	2.6×10^{16}
Gráficas	1024x752	14x14	3928	5	9.3×10^{17}
Gráficas(1/2 uso de la pantalla)	1024x752	14x14	1964	5	2.9×10^{16}

Tabla 1.1: Alfanuméricas vs Gráficas

1.2. Patrones suaves

Aparte de que los usuarios incluyen Hotspots en sus contraseñas, estas también presentan otras debilidades relacionadas con el uso de patrones específicos, principios psicológicos o modelos de atención visual. Estos aspectos son habitualmente empleados por los usuarios con el fin de hacer que sus contraseñas sean más fáciles de recordar. Sin embargo, esta estrategia, aunque mejora la memorabilidad, también facilita la creación de diccionarios de ataque para descifrar las contraseñas. Los patrones en unión con los Hotspots y las reglas perceptuales que los usuarios suelen seguir al elegir sus contra-

señas, como la organización visual o la repetición de ciertas formas, hacen que estas sean vulnerables a distintos tipos ataques.

En los estudios reportados en [5, 20, 21, 22, 23, 24, 25], se identificaron varios patrones comunes utilizados por los usuarios en la creación de contraseñas gráficas. Algunos de estos patrones incluyen formas predefinidas como Z, W, V, y C, patrones agrupados, regulares, y patrones LOD (que se refieren a figuras en ángulos específicos), además de los patrones DIAG y LINE, los cuales están relacionados con trayectorias diagonales o en línea. Entre estos, los patrones DIAG y LINE son los más frecuentemente utilizados por los usuarios.

Los patrones DIAG se describen como configuraciones donde los puntos se organizan formando arcos en direcciones horizontales y verticales. Una característica distintiva de estos patrones es que la suma de los valores absolutos de los ángulos entre los puntos es menor a 15° . Por otro lado, los patrones LINE se caracterizan por ser líneas rectas, ya sean horizontales o verticales. Estos se consideran un subconjunto de los patrones DIAG, ya que ambas configuraciones comparten una estructura similar basada en la alineación de los puntos, pero los patrones LINE son más simples al ser exclusivamente rectos.

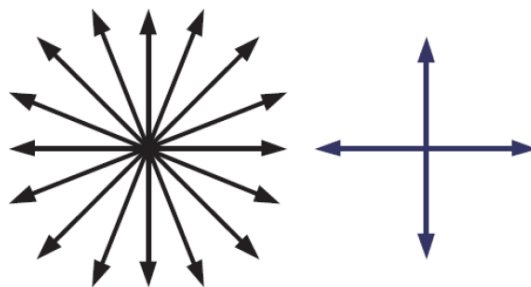


Figura 1.2: DIAG-LINE.

En un estudio realizado por los autores de [21, 22], se investigaron 223 contraseñas gráficas en el sistema PassPoint. Estas contraseñas fueron seleccionadas por estudiantes que interactuaron con dos imágenes diferentes. Cada imagen contenía una cantidad manejable de Hotspots, distribuidos de manera uniforme entre ellas. Durante el experimento, los investigadores intentaron descifrar las contraseñas utilizando ataques de diccionario. Utilizando un diccionario de 235.26 entradas y patrones de tipo DIAG, los atacantes lograron obtener entre el 48.2 % y el 54.1 % de las contraseñas. Además, empleando un diccionario diferente de 229.02 entradas y patrones de tipo LINE, los resultados fueron algo menos efectivos, logrando recuperar entre un 23.7 % y un 52.3 % de las contraseñas. Estos resultados destacan la efectividad variable de los ataques de diccionario cuando se aplican a contraseñas gráficas en escenarios con patrones específicos.

1.3. Triangulaciones de Delaunay

Definición(Triángulación de Delaunay): Una triangulación del conjunto P de los puntos sobre el plano es de Delaunay, si y sólo si la circunferencia circunscrita de cualquier triángulo en la red no contiene un punto p en su interior, como muestra la figura(triangulacionnes). Esta definición es conocida como condición de Delaunay [26, 27, 28].

Propiedades elementales de las triangulaciones de Delaunay

Una triangulación de Delaunay presenta las siguientes tres propiedades elementales:

1. La frontera externa de la triangulación de Delaunay forma la envoltura convexa del conjunto de puntos.
2. El ángulo mínimo dentro de todos los triángulos de Delaunay está maximizado, es decir, se evita obtener resultados con ángulos demasiados agudos. Como consecuencia de lo anterior, los triángulos generados en una triangulación tienden a ser lo más equilátero posible. Esto es debido a que todo triángulo no equilátero siempre tiene algún ángulo menor que 60° .
3. La triangulación es única cuando ningún borde de la circunferencia circunscrita contiene más de tres vértices de la red.

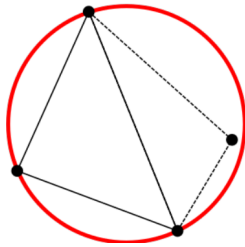


Figura 1.3: Triangulación no cumple condición de Delaunay

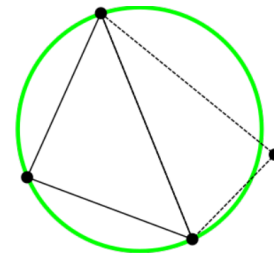


Figura 1.4: Triangulación sí cumple condición de Delaunay

Un aspecto clave al trabajar con triangulaciones de Delaunay es determinar si una triangulación es válida. Para lograr esto, se recurre a la fórmula de Euler, que es una herramienta fundamental en geometría computacional. Considerando un conjunto de puntos P de n elementos, si hay una cantidad h de puntos que pertenecen a la envoltura convexa de dicho conjunto, la fórmula permite calcular ciertas propiedades de la triangulación. Según esta, la triangulación de Delaunay resultante tendrá un total de $2n-2-h$ triángulos y $3n-3-h$ aristas. [29]

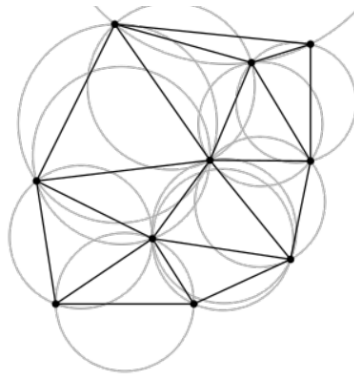


Figura 1.5: Triangulación de Delaunay para 10 puntos

1.4. Test de detección de patrones DIAG y LINE en el sistema PassPoint basado en los ángulos máximos de los triángulos de Delaunay

En [13] se propuso un innovador test para la detección de contraseñas gráficas débiles en el sistema PassPoint, diseñado específicamente para identificar contraseñas que sigan patrones de tipo DIAG y LINE. Este test se aplica de manera efectiva a imágenes con una relación de aspecto 16:9, válida para una amplia gama de tamaños de imagen. Para la construcción de este test, se desarrolló y probó una hipótesis inicial en la que se utilizó como estadístico la media de los ángulos máximos de los triángulos resultantes de la triangulación de Delaunay en los cinco puntos de una contraseña gráfica en PassPoint. Este enfoque demostró ser un método eficaz para evaluar y determinar si la contraseña seleccionada sigue un patrón DIAG o LINE.

Los resultados experimentales revelaron que las contraseñas que se ajustan a estos patrones tenían una media del estadígrafo significativamente más alta que aquellas generadas de forma aleatoria. Además, se comprobó que el estadístico utilizado seguía una distribución normal, lo que permitió desarrollar un test de una cola (derecha) basado en la media de una distribución normal. Este test evalúa la hipótesis nula, que afirma que la contraseña no sigue un patrón DIAG o LINE, frente a la alternativa de que sí sigue uno de estos patrones.

La eficacia de la prueba se evaluó utilizando seis bases de datos que contenían 10000 contraseñas cada una. Tres de estas bases incluían contraseñas que formaban patrones DIAG y tres contenían patrones LINE. Las bases de datos fueron segmentadas según los ángulos entre los segmentos consecutivos, una frecuencia que se determinó en [5] como mayor a la media. La prueba logró detectar el 100 % de las contraseñas gráficas que seguían los patrones DIAG y LINE, para segmentos consecutivos con una amplitud máxima entre 180° y 150° (Db1.DIAG, Db2.DIAG, Db1.LINE, Db1.LINE) en todos los niveles de significación evaluados.

Para contraseñas cuyos patrones tenían una amplitud entre 150° y 145° (Db3.DIAG, Db3.LINE), la prueba logró una detección del 100 % en los niveles de significación $\alpha = 0.2$ y $\alpha = 0.1$. Sin embargo, en los niveles de significación más bajos $\alpha \in \{0.05, 0.02, 0.01\}$, la tasa de detección disminuyó a aproximadamente 88 %, 42 % y 16 %, respectivamente. Para fines generales, los autores recomiendan utilizar un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, ya que este valor ofrece resultados superiores al 91 % de detección para patrones DIAG y 88 % para patrones LINE.

2. Metodología

Describe la metodología utilizada en tu investigación, incluyendo los métodos, herramientas y procedimientos.

3. Resultados

Presenta los resultados obtenidos durante tu investigación.

4. Discusión

Analiza los resultados y compara con otros estudios o referencias relevantes.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Resume los hallazgos principales y ofrece recomendaciones futuras.

Bibliografía

- [1] Wiedenbeck, S.; Waters, J.; Birget, J.C.; Brodskly, A.; Memon, N.: *Passpoints: Design and longitudinal evaluation of a graphical pass- word system*. International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 63(1-2):102-127, 2005.
- [2] Sunil, S.S; Prakash, D.; Shivaji, Y.R.: *Cued click points: Graphical password authentication technique for security*. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 5(2), 2014.
- [3] Rodríguez, O.: *Algoritmo para la detección de claves débiles en la técnica de autenticación gráfica passpoints*. Tesis presentada en opción al título Máster en Ciencias Matemáticas, Universidad de la Habana, Facultad de Matemática y Computación, Instituto de Criptografía, 2019.
- [4] Rodríguez, O.; Legón, C.M.; Socorro, R.: *Seguridad y usabilidad de los esquemas y técnicas de autenticación gráfica*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, Vol. 12, No. Especial UCIENCIA, 13-27, 2018.
- [5] Sonia Chiasson; Alain Forge; Robert Biddle: *User interface design affects security: Patterns in click-based graphical passwords*. School of Computer Science and Human Oriented Technology Lab. Carleton University
- [6] Herrera, J.A.; Suárez, L.; Legón, C.M.; Piñeiro, L.R.; Rojas, O.; Sosa, G. *Effectiveness of Some Tests of Spatial Randomness in the Detection of Weak Graphical Passwords in Passpoint*. In *Computer Science and Health Engineering in Health Services*; Marmolejo-Saucedo, J.A., Vasant, P., Litvinech, I., Rodriguez-Aguilar, R., Martinez-Rios, F., Eds.; COMPSE 2020; Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 359.
- [7] Herrera, J.A.; Legón, C.M.; Suárez, L.; Piñeiro, L.R.; Rojas, O.; Sosa, G. Test for Detection of Weak Graphic Passwords in Passpoint Based on the Mean Distance between Points. *Symmetry* 2021,13, 777
- [8] Suárez, L; Legón, C.M.; Herrera, J.A; Socorro, R.; Rojas, O.; Sosa, G.: *Weak Pass-Point passwords detected by the perimeter of Delaunay triangles*. Enviado a publicación 16 Marzo 2021, Journal Sensors. Security and Communication Networks, Issue 1,3624587.
- [9] L. Suárez. *Test para la detección de contraseñas gráficas débiles en PassPoint, basado en el promedio de los perímetros de los triángulos de Delaunay*. Master's thesis, Universidad de la Habana, 2021.

- [10] Herrera, J.A.; Suárez, L.; Legón, C.M.; Sosa, G. *Comparison and combination of two effective tests in the detection of nonrandom graphical passwords in Passpoints*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas 2023, 17, 1
- [11] Herrera, J.A.; Suárez, L.; Legón, C.M.; Sosa, G. and O. Rojas: *New test to detect clustered graphical passwords in Passpoints, based on the perimeter of the convex hull*. Information 2024, 15, 447
- [12] Chiu, S.N. *Spatial point pattern analysis by using Voronoi diagrams and Delaunay tessellations-A comparative study*. Biometr. J. 2003, 45, 367–376.
- [13] L. Suárez, J. A. Herrera, C. M. Legón, G. Sosa, and O. Rojas. *Detection of DIAG and LINE Patterns in PassPoints Graphical Passwords Based on the Maximum Angles of Their Delaunay Triangles*. Sensors, 22 (5), 2022a.
- [14] Birget, J.C.; Hong, D.; Memon, N.D.: *Robust discretization, with an application to graphical passwords*. IACR Cryptology ePrint Archive, 2003:168, 2003.
- [15] Chiasson, S.; Srinivasan, J.; Biddle, R.; van Oorschot, P.C.: *Centered discretization with application to graphical passwords*. In UPSEC, Citeseer, 2008.
- [16] Bicakci, K.: *Optimal discretization for high-entropy graphical passwords*. In *Computer and Information Sciences*. ISCIS'08, 23rd International Symposium on, pages 1-6, IEEE, 2008.
- [17] Kirovski, D.; Jogic, N.; Roberts, P.: *Click Passwords*. Microsoft Research, One Microsoft Way, Redmond, WA 98052, USA, 2007.
- [18] Dirik, A.E.; Memón, N.; Birget, J.C. Modeling user choice in the PassPoints graphical password scheme. In *Proceedings of the 3rd Symposium on Usable Privacy and Security 2007*, Pittsburgh, PA, USA, 20–28 July 2007.
- [19] Thorpe, J.; Al-Badawi, M.; MacRae, B.; Salehi-Abari, A. The presentation effect on graphical passwords. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Toronto, ON, Canada, 26 April–1 May 2014.
- [20] Thorpe, J.; Van Oorschot, P.C. Human-Seeded Attacks and Exploiting Hot-Spots in Graphical Passwords. In *USENIX 07: Proceedings of the 16th USENIX Security Symposium*; USENIX: Berkeley, CA, USA, 2007; pp. 103–118.
- [21] Salehi, A.; Thorpe, J.; Van Oorschot, P.C. On Purely Automated Attacks and Click-Based Graphical Passwords. In *Proceedings of the 24th Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC)*, Anaheim, CA, USA, 8–12 December 2008.
- [22] Van Oorschot, P.C.; Salehi, A.; Thorpe, J. Purely automated attacks on passpoints style graphical passwords. *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.* 2010, 5, 393–405.
- [23] Vorster, J.S.; Van Heerden, R.P.; Irwin, B. The patterns-richness of graphical passwords. In *Proceedings of the 15th International Information Security South Africa Conference (ISSA 2016)*, Pretoria, South Africa, 17–18 August 2016.

- [24] Princes, P.S.S.; Andrews, J. Analysis of various authentication schemes for passwords using images to enhance network security through online services. In Proceedings of the 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES), Chennai, India, 23–24 February 2017.
- [25] Parish, Z.; Salehi, A.; Thorpe, J. A study on priming methods for graphical passwords. *J. Inf. Secur. Appl.* 2021, 62, 102913.
- [26] Okabe, A.; Boots, B.; Sugihara, K.; Chiu, S.N.: *Spatial tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*. British Library Cataloguing in Publication Data, ISBN 0-471-98635-6, 2000.
- [27] Romero, N.; Barrón, R.: Validación de la triangulación de Delaunay empleando geometría conforme. *Sist.* Vol.20, No.4, ISSN 1405-5546, <http://doi.org/10.13053/cys-20-4-2387>, 2016.
- [28] Romero, J.N.: *Álgebra geométrica para la generación de regiones de Voronoi*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias de la Computación, Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Inteligencia Artificial, México D.F., 2017.
- [29] De Berg, M.; Cheong, O.; Van Kreveld, M.; Overmars, M. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*, 3rd ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; ISBN 978-3-540-77973-5.

A. Anexo A

Incluye aquí cualquier información adicional como encuestas, gráficos, o tablas complementarias.