Análisis y Visualización de Big Data mediante técnicas de realidad virtual

Big Data Visual Analytics using virtual reality techniques

Laura Raya, Alberto Sánchez
U-tad, URJC
laura.raya@u-tad.es, alberto.sanchez@urjc.es

Recibido: 24 de noviembre de 2014
Aprobado: 10 de diciembre de 2014

Resumen

Gracias a los avances de la tecnología, el número de datos que son generados y su complejidad crece exponencialmente. Las nuevas técnicas de adquisición de datos, así como las técnicas de computación de altas prestaciones han posibilitado la gestión de grandes conjuntos de datos con mayor resolución. Sin embargo, nuestra capacidad en el incremento de cantidad y complejidad en la generación de datos actuales, supera nuestra habilidad para entenderlos fácilmente y darles sentido. En el presente trabajo, proponemos el uso de técnicas de realidad virtual que exploten los diferentes canales sensoriales para facilitar la visualización, análisis, interpretación e interacción de grandes conjuntos de datos complejos.

Palabras clave: Análisis de datos, Analítica visual, realidad virtual, datos masivos.

Raya, L. & Sánchez, A. 2014: Análisis y Visualización de Big Data mediante técnicas de realidad virtual. *ArDIn. Arte, Diseño e Ingeniería*, 3, 61-74.

Abstract

Advances in technology have made it possible to increase the data size generated causing its complexity grows exponentially. New data acquisition and high performance computing techniques have enabled to manage large data sets with high resolution. However, the amount and complexity of current generation of data

exceeds our ability to easily understand and make sense of them. In this paper, we propose the use of virtual reality techniques that exploit different sensory channels for improving the visualization, analysis, interpretation and interaction of large complex datasets.

Key words: Data Analysis, Visual analytics, Virtual Reality, Big Data.

Raya, L. & Sánchez, A. 2014: Big Data Visual Analytics using virtual reality techniques. *ArDIn. Arte, Diseño e Ingeniería*, 3, 61-74.

Sumario: 1. Introducción, 2. Estado Del Arte, 3. Visión Estereoscópica, 4. Canal Háptico, 5. Sonido, 6. Conclusiones, Referencias.

1. Introducción

La evolución tecnológica llevada a cabo en los últimos años ha posibilitado la captura, almacenamiento y gestión de conjuntos de datos masivos en un sinfín de disciplinas (biología computacional, física de alta energías, dinámica de fluidos, etc.). Sin embargo, para que los datos puedan ser útiles, deberían ser procesados, interpretados y comprendidos de manera intuitiva y sencilla. La complejidad del conjunto de datos, con múltiples atributos y dimensiones, unido a la enorme cantidad de los mismos y los diversos métodos de adquisición, han provocado la creación de diferentes áreas científicas como *big data, data analytics,* etc. que procuran solventar los problemas de adquisición, almacenamiento, procesamiento, representación y análisis de los mismos de manera efectiva. La dificultad a la hora de representar dichos datos se debe tanto al elevado número de datos a representar como su complejidad. La complejidad de los datos queda definida en función del tipo de dato que sea (Fuchs et al. 2009), pudiendo realizar una clasificación de los mismos en función de si es un dato multivariable, multidimensional, datos multicanal, multimodales, multicampo y multievaluados.

La creciente complejidad de los problemas tratados y de los propios datos obtenidos, junto con la capacidad del ser humano para analizar y comprender visualmente la información, ha convertido a la representación visual de información en un método altamente atractivo para el análisis de datos.

Por otro lado, el concepto de realidad virtual es definido como una experiencia multimedia e inmersiva, donde un ordenador simula un entorno que puede estar presente en lugares físicos del mundo real o de un mundo imaginario (Burdea *et al.*, 2003). Diferentes avances en la tecnología han proporcionado la posibilidad

de interactuar por medio de prototipos existentes a través de todos los sentidos (vista, olfato, oído, tacto y gusto). Sabemos que el ser humano percibe su entorno real a través de los sistemas sensoriales, compuestos por los cinco sentidos principales y la combinación de ellos. Esto hace que cada sentido puede complementar al otro y percibir de manera única y exclusiva ciertas características. La combinación de información a través de los diferentes sentidos enriquece la experiencia del usuario, pudiendo albergar un mayor número de información de diferentes tipos.

Por todo ello, este trabajo propone utilizar técnicas de la realidad virtual como herramienta para el análisis de datos complejos, explotando no solo el canal visual sino diferentes canales sensoriales para facilitar la interpretación de los mismos. Para ello, en los puntos 3, 4 y 5, propondremos técnicas y aplicaciones, diseñadas por los autores de este artículo, para el análisis de datos utilizando los diferentes canales sensoriales.

2. Estado del arte

En el estado del arte, se han propuesto diferentes técnicas que permiten optimizar la visualización de datos científicos mediante el uso de computación de altas prestaciones o dispositivos especializados, simplificando y ayudando a los investigadores en la comprensión de los datos obtenidos en procesos, como el desarrollo de técnicas de visualización de datos multidimensionales (Kandogan, 2001; Fuchs *et al*. 2009; Rubio-Sanchez & Sanchez, 2014). Las diferentes propuestas encontradas se diferencian en la forma de transformar datos en representaciones visuales así como en sus características de interacción con los mismos. Mientras algunos investigadores emplean técnicas algorítmicas para la transformación, otros confían más en la interacción con el usuario para identificar patrones, agrupaciones o tendencias. El proceso de transformación visual básicamente toma *n* características de datos y los mapea en *k* atributos visuales (p.ej. posición, color, tamaño, etc.). Las técnicas de visualización se diferencian en el número de los parámetros de las funciones de transformación así como en el número de los atributos de los elementos visuales.

También existen técnicas de visualización tridimensional (Melançon *et al.*, 2000) que mejoran la integración de la información multidimensional representando tres atributos mediante la posición del elemento visual y, además, mapeando otras características con el tamaño, color, etc. Para realizar dichas mapeos se suelen aplicar diversas técnicas como las encontradas en (Valdés, 2004; Valdés, 2007). La representación tridimensional proporciona un nuevo punto de vista para analizar datos complejos, la cual se explota aún más en representación de sistemas de información en entornos de realidad virtual (Valdés, 2003; Montes, *et al.*, 2010). Uno de los objetivos principales de esta técnica es mejorar tanto como sea posible la interacción hombre-ordenador. Esto posibilita extender y mejorar las técnicas convencionales de *data mining* (Witten & Frank, 2005).

A pesar de su utilidad, hoy en día existen más estudios sobre representación de datos multidimensionales en minería de datos (Bethel *et al.*, 2008; Pavlopoulos *et al.*, 2008), que en realidad virtual (Azzag *et al.*, 2006). Por ejemplo, en el ámbito de biología computacional, existen múltiples técnicas (Zhang *et al.*, 2005; Yonggao *et al.*, 2003) que se utilizan para visualizar relaciones entre genes, denominados redes genéticas. Sin embargo, solamente unos pocos estudios (Barton *et al.*, 2008) presentan un mecanismo heurístico para representar datos heterogéneos a partir de realidad virtual. Adicionalmente (Donalek *et al.*, 2014) presentan un entorno inmersivo y colaborativo para el análisis de datos basándose en técnicas de visualización en entornos de realidad virtual.

En cualquier caso, tanto las técnicas tradicionales de visualización multidimensional incluyendo los algoritmos de reducción de dimensionalidad, como los avances en realidad virtual para la representación de datos, suelen utilizar la visión como el canal principal para interpretar la información. Sin embargo, un gran número de identificativos visuales puede saturar el sentido de la vista a la hora de la interpretación, resultando difícil identificar cada una de las metáforas visuales utilizadas por cada variable. Oclusiones, cambios de iluminación, falta de claves visuales o características del propio monitor pueden entorpecer esta análisis provocando un cuello de botella por el canal visual. Por esta razón, la información multisensorial puede resultar de gran ayuda a la hora de reforzar o especificar los datos mediante la utilización del uso de diferentes canales de entrada sensoriales. En este trabajo, proponemos el uso de diferentes técnicas y dispositivos de realidad virtual (tanto visuales, como auditivos y hápticos) como soporte para la visualización de datos complejos y masivos, bien sea de manera separada o en combinación de varias de ellas.

En este trabajo, proponemos el uso de diferentes técnicas y dispositivos de realidad virtual (tanto visuales, como auditivos y hápticos) como soporte para la visualización de datos complejos y masivos, bien sea de manera separada o en combinación de varias de ellas.

3. Visión estereoscópica

La visualización en entornos de realidad virtual permite la elección de las diferentes formas que pueden representar objetos, y hasta información, de acuerdo a las diferencias en la percepción humana. Permite a su vez, aumentar el grado de inmersión posibilitando la navegación dentro de los datos utilizando diferentes métodos de interacción. La representación tridimensional de información, como la que propusimos en (Montes *et al.*, 2010), proporciona un nuevo punto de vista para analizar datos complejos, la cual se puede aprovechar mejor en entornos de realidad virtual.

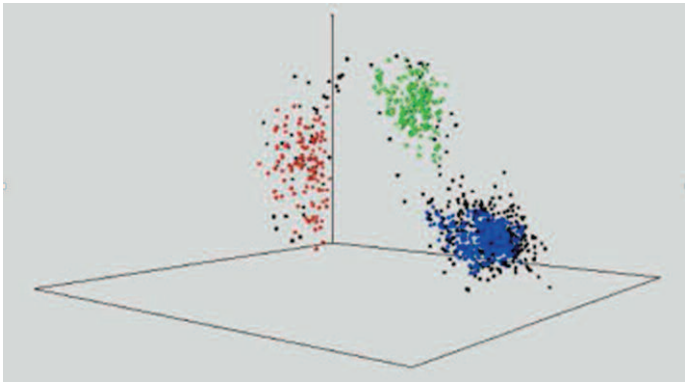

Figura 1. Imagen de la técnica diseñada en (Montes et al., 2010) para la representación e interacción con información compleja en entornos tridimensionales

Para la comprensión de la información de forma visual de datos masivos y complejos, uno de los principales problemas hallados es que muchos de ellos se encuentran visualmente ocluidos, lo que impide el análisis de la completitud de los datos. El uso de claves visuales para representar diferentes tipos de información carece de sentido en este tipo de entornos, ya que los datos más alejados al espectador no serán visibles. La inclusión de representación por capas o de transparencias en función del nivel de detalle es una alternativa utilizada en estos casos, pero es posible que ocasione una pérdida de información local y global en un momento dado.

Actualmente existen técnicas de estereoscopía para incorporar una clave adicional de profundidad de manera visual, lo cual unido a la interacción dada dentro de dichos entornos tridimensionales permite navegar por los datos y cambiar el punto de vista para evitar oclusiones. Sistemas como las Oculus Rift, Cuevas de Realidad Virtual o Trivisio AR-vision Goggles pueden convertirse en herramientas para simplificar el análisis de grandes conjuntos de datos de manera intuitiva. De manera similar a (Donalek *et al.*, 2014; Cioc *et al.*, 2013), mediante la visión estereoscópica es posible diseñar entornos más inmersivos y colaborativos que permitan realizar visualizaciones y análisis de datos.

Sin embargo, estas técnicas suelen utilizarse aún de manera limitada, y a pesar de poseer diferentes ventajas frente a las técnicas de visualización más tradicionales, siguen estando fuertemente limitadas en el número de claves visuales posibles a representar, saturando de igual manera el canal visual.

4. Canal Háptico

El término háptico designa la ciencia del tacto y describe lo relacionado con percibir y transmitir información a partir de este sentido. El sentido del tacto se puede dividir principalmente en: kinestesia y táctil. La kinestesia se refiere a toda aquella información del tacto que se percibe mediante los músculos y tendones. Por otro lado, la parte táctil representa a toda aquella información que se percibe a través de los sensores de la piel. El uso del canal háptico como alternativa o apoyo a los métodos de visualización científica puede proporcionar diferentes ventajas principalmente en tres ocasiones, que serán descritas en los siguientes sub-apartados. Para ello, existen diferentes dispositivos hápticos (calificados en función de los puntos de contacto con los que interaccione con el entorno de datos y de si son dispositivos kinestésicos o táctiles) que funcionan como una interfaz de entrada/salida. Los dispositivos kinestésicos tienen la característica de devolver fuerza al usuario, a partir de su posición en el mundo virtual (simulando colisiones, texturas de las superficies, peso de los objetos, etc.). Por otro lado, los dispositivos táctiles devuelven estímulos vibratorios a la piel, de manera que puedan simular efectos como presión, rugosidad, temperatura, etc.

Dichos dispositivos, pueden permitir aumentar tanto el tipo de información no apreciable por la vista, como el número de datos a interpretar, aliviando el cuello de botella de la visión y complementándola con el tacto. Así, proponemos el uso del canal del tacto como apoyo a la visión (ver Figura 2) como en la aplicación que presentamos en (Raya *et al.*, 2011), de manera que sea posible determinar qué información puede ser percibida por el canal visual (mediante el módulo de visión estereoscópica) y cuál puede ser percibida por el canal del tacto (mediante el módulo de interacción háptica).

Figura 2. Imagen de una aplicación presentada en (Raya et al., 2011) donde se combina la visión estereoscópica con la interacción háptica.

En dicha interfaz, el usuario analiza la localización de los datos estructurales y sus propiedades mediante la visión gracias a la visión estereoscópica y las claves visuales integradas en el sistema. Por otro lado, el dispositivo háptico permite al usuario tocar los diferentes elementos, analizar la conectividad de las estructuras y seleccionar el dato que se desea analizar.

4.1 Interactividad

En escenarios complejos con un número elevado de datos, la posición y la orientación del punto de vista del usuario puede afectar de manera considerable a la visibilidad del entorno virtual, así como a la tarea de análisis a realizar. Un control de la cámara intuitivo ayuda al usuario a navegar a través del mundo virtual. Especialmente en casos con múltiples oclusiones, un análisis visual detallado de los datos requiere múltiples movimientos de cámara para encontrar un punto de vista óptimo para el análisis.

En este trabajo se propone el uso de un dispositivo háptico como herramienta para la navegación por entornos 3D, ofreciendo al usuario un control de la cámara intuitivo y sencillo de manejar. Estos dispositivos, además de tener la capacidad de devolver fuerza al usuario, resultan una buena herramienta para navegar a través de entornos tridimensionales, debido a la facilidad de movimiento de sus brazos y motores que a menudo proporcionan más de 3 grados de libertad. De esta manera, se permite la navegación y colocación de los datos mediante el *stylus* de un dispositivo háptico. Así, es posible utilizar el *stylus* para interactuar con los datos a modo de ratón, pudiendo seleccionarlos pulsando con el dispositivo sobre el dato a analizar.

Para ello, es necesario diseñar una interfaz que, de manera intuitiva y usable, permita el manejo de los datos y la navegación a través de la escena virtual. Con una interfaz como la que hemos presentado en (Raya *et al.*, 2011), se propone centralizar el manejo de la navegación en una única mano, de manera que el dispositivo háptico se utiliza tanto para interactuar con los datos como para manejar las diferentes transformaciones que pueden ser necesarias, como traslación, rotación y zoom de la cámara.

4.2 Facilitar la exploración topológica

Se puede utilizar el sentido del tacto de una forma natural limitando los movimientos del usuario a una estructura o forma determinada a analizar mediante la retroalimentación de fuerza devuelta por un dispositivo kinestésico. De esta manera, creamos una similitud con la manera en la que el usuario utiliza el tacto en el mundo real, por lo que al usuario le puede resultar natural el uso del tacto en

estos casos. En diferentes ocasiones, la forma y las conexiones de los datos a interpretar resultan esenciales para un análisis eficaz y completo, sin embargo, debido a oclusiones es difícil entender la continuidad exacta de cada parte que conforma la estructura global. Nosotros proponemos el uso de algoritmos de navegación háptica restringida (Raya *et al.*, 2014; Turro *et al.*, 2001) para facilitar la comprensión de este tipo de estructuras. Dichos algoritmos, limitan los movimientos del usuario a la estructura que está analizando, indicándole mediante la fuerza que devuelve el dispositivo háptico las diferentes características geométricas que la componen, de manera análoga a si la estuviera tocando en la vida real. De esta manera, los algoritmos de navegación restringida ofrecerán un método de análisis táctil definido por el usuario (el usuario tocará las estructuras que él desee, seleccionará los datos que quiera, etc.), pero guiado mediante la fuerza por el dispositivo. Un posible ejemplo es limitar al usuario a analizar elementos conectados de una estructura (como una red de neuronas), de manera que les sea más sencillo analizar conexiones y dependencias entre los datos. Hemos podido comprobar este funcionamiento en nuestra aplicación presentada en (Raya *et al.*, 2013).

Por otro lado, técnicas tales como las presentadas en (Ladevece *et al.*, 2009) proporcionan herramientas de navegación para planificar y calcular diferentes caminos que llevan de manera automática a un punto de interés de toda la estructura mediante la fuerza. Es decir, el usuario solo tendría que ejecutar la técnica y el dispositivo automáticamente le llevaría mediante el tacto a la posición determinada de interés dentro de la estructura a analizar, por ejemplo, los datos que representen mayor valor en una de las variables. El uso de estos algoritmos de navegación háptica pueden solventar los problemas encontrados de oclusiones y comprensión de estructuras enrevesadas.

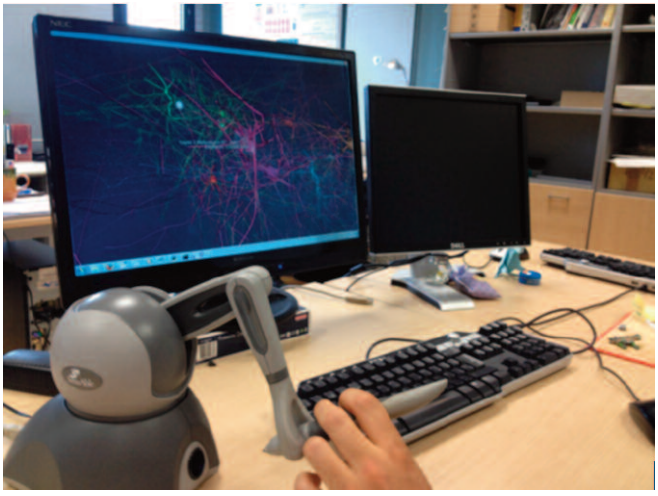

Figura 3. Imagen de una de nuestras aplicaciones presentada en (Raya et al., 2013) donde se permite el análisis de datos neuronales mediante un dispositivo háptico kinestésico y algoritmos de navegación restringida.

Representación de información abstracta

Es posible liberar la saturación del canal visual ofreciendo información adicional mediante el canal háptico, bien sea de manera kinestésica como táctil. Para ello, es necesario usar el tacto para representar información abstracta, no relacionada con el canal háptico. El principal objetivo de la visualización háptica es renderizar datos complejos mediante formas hápticas comprensibles, permitiendo a los usuarios percibir las características de los datos a través del sentido del tacto, por ejemplo, mediante la piel. Las texturas hápticas, como la rugosidad o la fricción, son un lenguaje que puede transmitir un tipo de información concreta. Para utilizarlas como herramienta de apoyo a la visualización científica, planteamos el uso de iconos hápticos que representen información abstracta. Se define un icono háptico como el conjunto de breves señales generadas por un computador, mostradas a un usuario a través de retroalimentación de fuerza, de forma que éstas comuniquen una idea simple de manera similar a los iconos visuales o auditivos (Enriquez *et al.*, 1997). La utilización de iconos hápticos permite reducir la atención visual y la carga cognitiva que de otra manera se requeriría para identificar cada una de las variables si se hiciera uso, únicamente, del canal visual. Dichos iconos son ampliamente utilizados en pantallas táctiles (Brewster *et al.*, 2004) y menos frecuentes en el canal kinestésico (Planeels *et al.*, 2009).

Proponemos representar diferentes dimensiones o características de los datos a analizar mediante el canal del tacto en entornos de análisis de datos científicos. Caracterizando de manera discriminable cada icono háptico, es posible asociar un significado de la variable a una sensación háptica, utilizando esa sensación táctil o kinestésica bien como apoyo a la variable visual o bien como sustitución de ella. Es decir, el usuario podría asignar una propiedad de un dato (por ejemplo, en un sistema de representación neuronal, se podría representar si un dato representa un ion de sodio o de potasio, en función de si el usuario percibe táctilmente una onda senoidal o una onda cuadrada). Es extremadamente importante definir cada icono háptico de manera discriminable, siguiendo la Ley de Weber (Ross *et al.*, 1996) que determina la mínima distancia discriminable (JND) que indica la diferencia entre dos estímulos es una cantidad proporcional al tamaño del estímulo base. Si no fuera así, el usuario no sería capaz de discriminar y diferenciar dos iconos consecutivos.

Ante la elección del tipo de icono (táctil o kinestésico) a elegir en un sistema de realidad virtual específico para el análisis de datos, consideramos que si el análisis es estructural y geométrico (haciendo uso de los métodos de guiado háptico anteriormente propuestos) es recomendable la utilización de iconos kinestésicos a pesar de que suelen ser más habituales los táctiles como en las pantallas de los móviles. Esto permite reducir el manejo y la interacción háptica a un único dispositivo kinestésico y a una única mano. Además, estos dispositivos, mediante la utilización del *stylus*, son más intuitivos de utilizar para el control de la cámara en el entorno 3D que los dispositivos táctiles, los cuales se basan en efectores cercanos a la piel, obligados a instalar un sistema *tracker* para el seguimiento natural de la posición del usuario y, por tanto, de la cámara.

Sin embargo, una de las principales limitaciones de representar el valor de variables mediante el canal háptico (tanto táctil como kinestésico) es la alta dependencia como seres humanos que tenemos con la memoria a corto plazo (Chan *et al.*, 2004) para comparar y discriminar dos señales hápticas seguidas. Por ello, en la especificación de a qué tipo de variables podemos asociar el uso de iconos hápticos, mantenemos la hipótesis de que será más óptimo utilizarlos en los casos de variables cualitativas permanentes, no requiriendo una constante discriminación entre los valores de las variables mediante el tacto, dejando las variables cuantitativas y dinámicas para el sonido o la visión.

5. Sonido

El sentido del oído puede ofrecer un apoyo al análisis de datos interesante, debido a que estamos altamente entrenados en recibir información mediante dicho canal sensorial. En multitud de aplicaciones, el sonido ofrece un papel fundamental en la presentación de estados y acciones, sin embargo su uso como herramienta en la visualización científica aún es escaso. En esta línea, encontramos el trabajo de (Toharia *et al.*, 2014), donde se representa el canal del oído como alternativa a la visión para representar el número y localización de las espinas del cerebro humano. Nosotros proponemos el uso del canal auditivo mediante la utilización de auditonos, para presentar información abstracta, de manera similar al punto 4.3 de este artículo. Los estudios encontrados en (Brewster *et al.*, 1993; Brewster *et al.*, 1992), determina de qué manera es aconsejable definir estos auditonos para que sean efectivos. En aspectos generales, y de igual manera que en el caso del háptico, los auditonos deben ser definidos siguiendo la Ley de Weber, asegurando que dos auditonos son discriminables entre sí, por lo que pueden representar dos datos de variables diferentes.

Hemos podido observar también que el canal auditivo es bueno para representar distancias a un determinado dato, estando el ser humano más entrenado en diferenciar fuertes y bajos (pudiendo especificar distancias), que agudos y graves. Por otro lado, debido a que pueden ser descritos auditivamente cantidades cuantitativas, dejamos la representación de variables cuantitativas y dinámicas al canal del oído, mientras que las variables cualitativas y permanentes las planteamos en el anterior apartado para el canal del tacto. De esta manera, la sonificación de datos puede complementar la visualización de los mismos e incluso, sustituirla tras un entrenamiento, pudiendo representar diferentes variables con cada uno de los canales sensoriales.

6. Conclusiones

La visualización de múltiples datos complejos resulta un reto en si misma. Habitualmente, para su interpretación se utiliza un único canal sensorial, dando lugar al uso de técnicas de *visual analytics* o hasta métodos de realidad virtual para la visualización de datos. Partiendo de la hipótesis de que a medida que utilizamos más canales sensoriales podemos interpretar mayor información sensorial y de manera más sencilla, en este trabajo proponemos utilizar técnicas de realidad virtual de varios canales sensoriales para mejorar la visualización y análisis de datos masivos y complejos. La utilización del oído y del tacto virtual es un reto cada vez más accesible debido a los avances tecnológicos en estas dos modalidades sensoriales. Explotando tres canales sensoriales como la visión, el oído y el tacto (parte kinestésica o parte táctil), y especificando además qué tipo de variables pueden ser utilizadas por cada canal, hemos pretendido evaluar las posibilidades que tiene la realidad virtual en este ámbito. Para ello, hemos mostrado diferentes aplicaciones diseñadas por los autores y testeadas con diferentes usuarios en diferentes entornos que han posibilitado obtener resultados favorables en la interpretación de datos complejos y masivos. Como trabajo futuro, se plantea unificar las ventajas de todas las aplicaciones mostradas con el objetivo de construir una aplicación completa que permita realizar dicho análisis

Referencias

Azzag, H., Picarougne, F., Guinot, C., Venturini, G. (2006). VRMiner: a tool for multimedia databases mining with virtual reality, Université François-Rabelais de Tours, Laboratoire d'Informatique.

Barton, A., Valdés, J.(2008). Hybrid Unsupervised/Supervised Virtual Reality Spaces for Visualizing Gastric and Liver Cancer Databases: An Evolutionary Computation Approach, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada.

Bethel, E. Wes, Rubel, Oliver, Weber, Gunther H., Hamann, Bernd, Hagen, Hans (2008). Visualization and Analysis of 3D Gene Expression Data, Lawrence Berkeley National Laboratory

Brewster, S., Brown, L. M. (2004). Tactons: Structured tactile messages for non-visual information display. In Fifth Conference on Australasian User Interface (AUIC '04), Dunedin.

Brewster S.A., Wright P.C., Edwards, A. (1992). A detailed investigation into the effectiveness of earcons. In Proceedings of ICAD'92 (Santa Fe Institute, Santa Fe) Addison-Wesley.

Brewster S.A., Wright P.C., Edwards, A. (1993). An evaluation of earcons for use in auditory human-computer interfaces. Conference on Human Factors in Computing Systems. Pages 222-227.

Burdea, G. Coffet, P. (2003). Virtual Reality Technology. Wiley-IEEE Press.

Chan, A., MacLean, K., McGrenere, J. (2004). Learning and identifying haptic icons under workload. In Sensory perception and interaction research group.

Enriquez, M. (1997). A Study of Haptic Icons. Master Thesis.

Cioc, A.; Djorgovski, S. G.; Donalek, C.; Lawler, E.; Sauer, F.; Longo, G. (2013). Data Visualization Using Immersive Virtual Reality Tools. American Astronomical Society, AAS Meeting #221, #240.20.

Donalek, C., Djorgovski, S.G. Davidoff, Scott. Cioc, Alex. Wang, A. Longo, G. Norris, J.S., Zhang, J. Lawler, E. Yeh, S., Mahabal, A. Graham, A., Drake, A. 2014: Immersive and Collaborative Data Visualization Using Virtual Reality Platforms. IEEE International Conference on Big Data, page 609

Fuchs, R. Hauser, H. (2009). Visualization of multi-variate scientific data. COMPUTER GRAPHICS forum, 28(22):1670-1690.

Witten, I., Frank, E. (2005). Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2 edition.

Kandogan, E. (2001). Visualizing multi-dimensional clusters, trends, and outliers using star coordinates. In Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD international Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (San Francisco, California, August 26 - 29, 2001). KDD '01. ACM, New York, NY, 107-116.

Ladeveze, N., Fourquet, J. Puel, B. (2009). Interactive path planning for haptic assistance in assembly tasks. Computers and Graphics. Special section: IEEE Virtual Reality (VR) 2009, 34(1):17-25.

Melançon, G., Scott Marshall, M. (2000). Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: a Survey, IEEE CS Society

Montes, J., Sánchez, A., Valdés, J., Pérez, M. S., Herrero, P. (2010). Finding order in chaos: a behavior model of the whole grid. Concurrency and Computation: Practice and Experience. John Wiley & Sons, Volume 22, Page 1386—1415

Paneels, S., Roberts, J.C. (2009). Review of designs for haptic data visualization. volume 3, pages 119-137.

Pavlopoulos, G.A., O'Donoghue, S.I., Satagopam, V.P., Soldatos, T.G., Pafilis, E. and Schneider, R. (2008). Arena3D: visualization of biological networks in 3D, BMC Systems Biology

Raya, L., Otaduy, M.A., Garcia. M. (2011). Neural data exploration with force feedback. In V IBERO-AMERICAN SYMPOSIUM IN COMPUTER GRAPHICS SIACG.

Raya, L., Aguilar, P, García, M., Hernando, J. (2013). Extending neuron simulation visualizations with haptic feedback. In Proceedings of XXIII Congreso Español de Informática Gráfica.

Raya, L., Bayona, S. Pastor, L. García, M. (2014). A New User-Adapted Search Haptic Algorithm to Navigate along Filiform Structures. IEEE Transaction on haptics. Issue No.03 - July-Sept. 2014 vol.7

Ross, H.E., Murray, D. J. (1996). E.h. weber on the tactile senses. In 2nd ed. Hove: Erlbaum(UK) Taylor and Francis.

Rubio-Sánchez, M., Sanchez, A. (2014). Axis Calibration for Improving Data Attribute Estimation in Star Coordinates Plots. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (Proceedings Scientific Visualization / Information Visualization 2014). vol. 20, no. 12, Pages 2013-2022.

Toharia, P., Morales, J. de Juan, O. Fernaud, I., Rodríguez, A. DeFelipe. J. (2014). Neuroinformatics. Musical representation of dendritic spine distribution: a new exploratory tool,

Turro, N., Khatib, O., Coste-Maniere, E. (2001). Haptically augmented teleoperation. In Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, volume 1, pages 386-392.

Valdés, J. J. (2004). Building Virtual Reality Spaces for Visual Data Mining with Hybrid Evolutionary-classical Optimization: Application to Microarray Gene Expression Data, IASTED Int. Joint Conf on Artificial Intelligence and Soft Computing, 161-166.

Valdés, J., Romero, E., González, R. (2007). Data and Knowledge Visualization with Virtual Reality Spaces, Neural Networks and Rough Sets: Application to Geophysical Prospecting. IJCNN 2007: 160-165.

Yonggao Yang, C. Woosung Kim, J.X. (2003). Gene expression clustering and 3D visualization, Computing in Science & Engineering, 5(5):37-43.

Zhang, Li, Weiguo, S. Xiaohui, L. (2005). 3D visualization of gene clusters and networks, Visualization and Data Analysi. Edited by Erbacher, Robert F.; Roberts, Jonathan C.; Gröhn, Matti T.; Börner, Katy. Proceedings of the SPIE, Volume 5669, pp. 316-326.