

[CS2002]

Tecnologías

Presidente

RAFAEL MEDINA CARNICER

Departamento de Informática
Universidad de Córdoba

Ponentes

JOAN BATLLE

OLGA BUSTO

CECILIA JIMÉNEZ

FRANCESC XAVIER MUÑOZ

FRANCISCO JOSÉ PERALES

[CS2002]

Visión por computadora y robótica

Joan Batlle

Instituto de Informática y Aplicaciones
Universidad de Girona

El Grupo de investigación sobre Visión por Computadora y Robótica (VICOROB), de la Universidad de Girona, desarrolla sistemas de visión por computadora y de procesado de imagen en tiempo real con aplicaciones tales como el reconocimiento de objetos, patrones, colores y contornos, así como el seguimiento de objetos en movimiento. Una de las principales áreas de aplicación es el control de calidad del producto industrial. Otras áreas de aplicación son la biomedicina, la seguridad y la defensa.

Los sistemas de visión por computadora también son la principal fuente de información para los robots desarrollados por el grupo. Ciertos robots facilitan la movilidad y la autonomía de las personas discapacitadas, otros son vehículos autónomos y teledirigidos con aplicaciones en el mundo de la investigación y de la industria.

VICOROB investiga las relaciones entre robótica y percepción, centrándose básicamente en cómo los robots pueden percibir el mundo que les rodea. El primer prototipo desarrollado con forma esférica para máquinas es un pequeño robot, cuya principal función es moverse bajo el agua con el fin de conocer y estudiar sus reacciones.

Cabe aclarar que, en el campo de la robótica submarina, generalmente, los robots son movilizados por un operador humano que, desde la superficie terrestre, en un bote o cualquier otra plataforma de experimentación, toma las decisiones acerca de la movilidad del prototipo sobre la base de lo que está observando a través de una cámara colocada en el robot sumergido. Por tanto, no estaríamos refiriéndonos a inteligencia de alto grado aplicada a robótica.

En cambio, los modelos subacuáticos que estamos experimentando en la actualidad pueden ser conside-

rados más «inteligentes»: incorporan cuatro máquinas y tienen brazos, lo que añade la posibilidad de que el robot mueva objetos bajo el agua. Por ejemplo, GARBI es un robot de observación submarina desarrollado conjuntamente con la Universidad Politécnica de Cataluña que se utiliza para la realización de observaciones subacuáticas de larga duración, recolección teleoperada de muestras, etc.

Robótica y percepción

El principal sensor conocido tanto en robótica subacuática como terrestre o doméstica son los ultrasonidos: la posibilidad de emitir y recibir señales a través de ellos. Los delfines y las ballenas nos enseñan que, bajo el agua, las señales que funcionan son signos emitidos y recibidos que hacen posible la comunicación a más de 500 km de distancia. En nuestros robots, por ejemplo, se aplica este método para evitar el choque de la máquina con el fondo marino. Pero, ¿sería posible usar la visión? La luz no penetra en el agua, por ello los submarinos se comunican, hasta la superficie, por ultrasonidos de voz y, desde allí, por ondas de radio. Sin embargo, ver a cierta distancia e iluminar, crear luz, bajo el agua son dos fenómenos posibles, lo que demuestra que, por ejemplo, un robot subacuático sumergido a 4 metros de profundidad podría navegar a través de un sensor visual.

La cuestión fundamental es conocer hasta dónde puede llegar el grado de percepción aplicando la tecnología informática de que disponemos hoy día.

Los robots terrestres navegan por superficies, por ejemplo, la de una carretera. El robot puede interpretar amplias áreas a partir de la identificación cromática; así, detectará que la carretera es gris, la zona adyacente es verde (entorno), otra zona es azul

(cielo), etc. Los sistemas de visión informática pueden segmentar o separar grandes bloques «pensando en color»; eso es una realidad al igual que la posibilidad de distinguir imágenes (a tiempo real, 50 imágenes por segundo, etc.).

En la actualidad estamos aún lejos de alcanzar el nivel humano de visión, ya que aun con las herramientas más potentes sólo se alcanzaría un 1/10 000 del alcance del ojo humano, pero existen algunos trucos que nos

permiten ir avanzando. Uno de ellos, por ejemplo, es el empleo de un patrón de color láser que define un objeto en tres dimensiones y puede determinar con bastante precisión la forma que nuestro robot «esquiva» cierto objeto. El Instituto de Informática y Aplicaciones desarrolla ejemplos de hardware que perciben y reconocen objetos, funcionando como incipientes cerebros artificiales que auguran prometedoras aplicaciones en la industria.

La nariz electrónica: una nueva herramienta para analizar el aroma

Olga Busto

Química Analítica Enológica y de los Alimentos, Unidad de Enología del CeRTA, Departamento de Química Analítica y Química Orgánica, Facultad de Enología, Universidad Rovira i Virgili, Tarragona

Tradicionalmente, el aroma de los alimentos se ha analizado empleando técnicas de análisis sensorial y/o técnicas cromatográficas con sistemas de detección universal como la espectrometría de masas (MS) o la ionización de llama (FID). Estas últimas han sido, además, las que han permitido cuantificar los componentes individualizados que constituyen la fracción volátil del alimento. En los últimos años, otras técnicas como la cromatografía de gases con detección olfatométrica (GCO) han complementado los resultados de las técnicas más clásicas, puesto que han permitido cuantificar los componentes volátiles pero, además, identificar aquellos que aportan alguna nota aromática al alimento en cuestión. Es decir, la GCO podría considerarse un punto intermedio entre el análisis sensorial y las técnicas cromatográficas. No obstante, esta técnica, como técnica cromatográfica que es, adolece de una falta de rapidez analítica que la hace poco útil en control de calidad. La nariz electrónica, sin embargo, sí posee esta característica, puesto que procesa la fracción volátil del alimento (y, por lo

tanto, el aroma) de forma global, igual que hace la nariz humana, permitiendo clasificar los diferentes alimentos en función de su similitud aromática, aunque no determina la composición de dicho aroma.

La nariz electrónica se define como un instrumento dotado de sensores químicos y de un programa quimiométrico de reconocimiento de modelos, que es capaz de reconocer y comparar olores individuales o complejos. Al igual que el sistema olfativo humano, su objetivo es relacionar el aroma que se percibe con una respuesta que, tras ser almacenada en la memoria, servirá como modelo en ulteriores análisis (fig. 1).

Todos los sistemas de nariz electrónica que existen actualmente en el mercado constan de tres partes bien diferenciadas. La primera de ellas implica la toma de muestra que, en este caso, y dadas las características de volatilidad de la misma, se fundamentará en la técnica del espacio de cabeza (*headspace*) estático. Los volátiles, concentrados por calentamiento en la fase vapor que está sobre la muestra (líquida o sólida) son introducidos en el sistema de sensores que medirá las

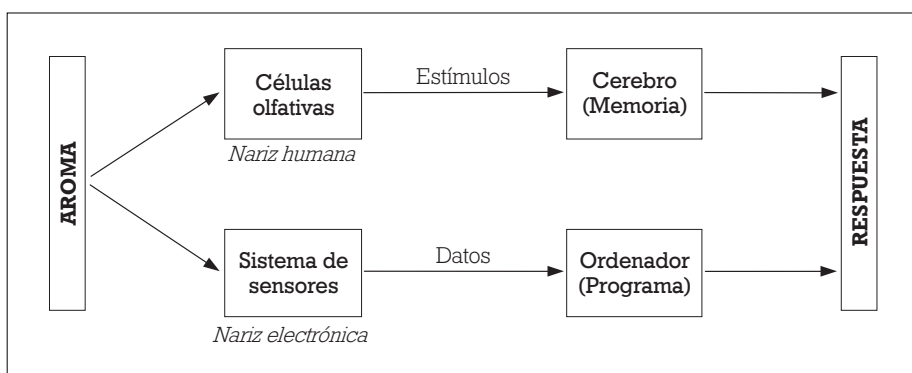


Figura 1 Nariz humana versus nariz electrónica

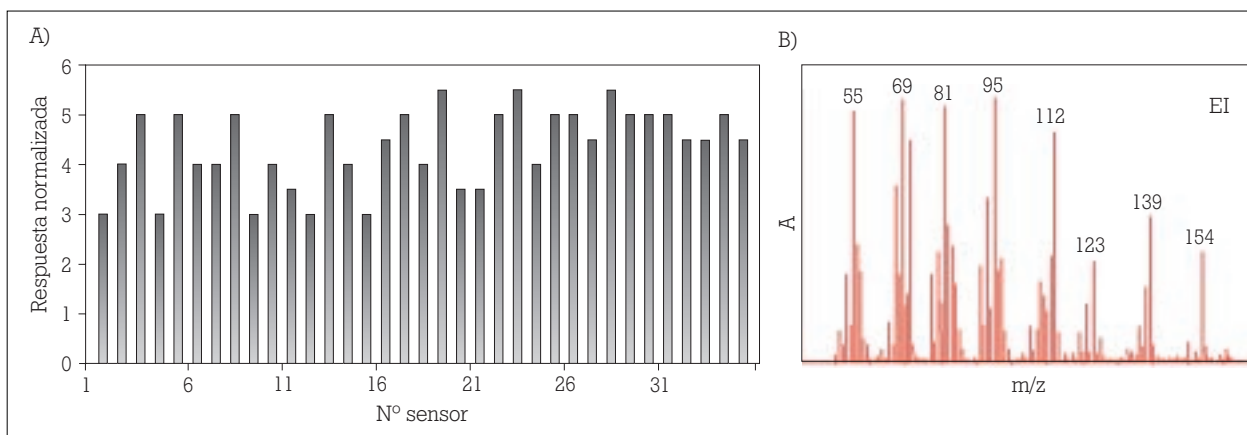


Figura 2 Tipo de respuestas obtenidas con olfatos artificiales: A) sensores de gases, B) espectrometría de masas

diferentes propiedades físico-químicas de los componentes del aroma, convirtiendo el olor en la señal medible que un ordenador se encargará de procesar—mediante técnicas quimiométricas—, proporcionando un gráfico que representará la huella digital de dicho olor. Así pues, toma de muestra, conjunto de sensores y sistema de tratamiento de datos serán las partes esenciales de cualquier tipo de nariz electrónica comercial.

La diferencia fundamental entre los sistemas de olfato electrónico reside en la tipología de los sensores empleados. Los llamados sensores de gases son los más consolidados. Estos sensores, que funcionan en batería (sistemas multisensor) y están constituidos por diferentes materiales (óxidos metálicos, polímeros conductores, cristales piezoeléctricos, etc.), modifican sus propiedades eléctricas cuando interaccionan con los compuestos volátiles, proporcionando una *huella olfativa* de la fracción volátil que han percibido. Estos sistemas han demostrado ampliamente su utilidad para el análisis de alimentos, pero no son adecuados para analizar bebidas alcohólicas por la saturación que conlleva la presencia mayoritaria del etanol en la fracción volátil.

En los últimos años, ha aparecido en el mercado un nuevo tipo de nariz electrónica, basado en la espectrometría de masas (HS-MS). Mediante esta técnica, cuya capacidad analítica ha sido suficientemente probada, se consigue obtener un espectro que equivaldría a un multisensor con tantos sensores como iones formados. Para este tipo de sistema, la presencia de componentes como el etanol no supone un problema, puesto que las interferencias pueden soslayarse prescindiendo de analizar sus iones característicos. Otra ventaja sustancial es el hecho de que no sea necesario ningún acondicionamiento del sensor ni de la muestra, con lo que es una técnica muy competitiva para el control de calidad. Además, permite obtener información adicional

de la composición de la fracción volátil, ya que los iones contienen información directa de las moléculas, con lo que puede mejorarse la sensibilidad y la selectividad de la medida.

Así pues, sea cual sea el tipo de sensor empleado, se tratará de sistemas multisensor, con lo que la respuesta será una matriz de datos multidimensional (fig. 2) que las herramientas quimiométricas (análisis de agrupaciones, técnicas de clasificación, redes neuronales, análisis de componentes principales, etc.) se encargarán de transformar en información analítica de utilidad (fig. 3).

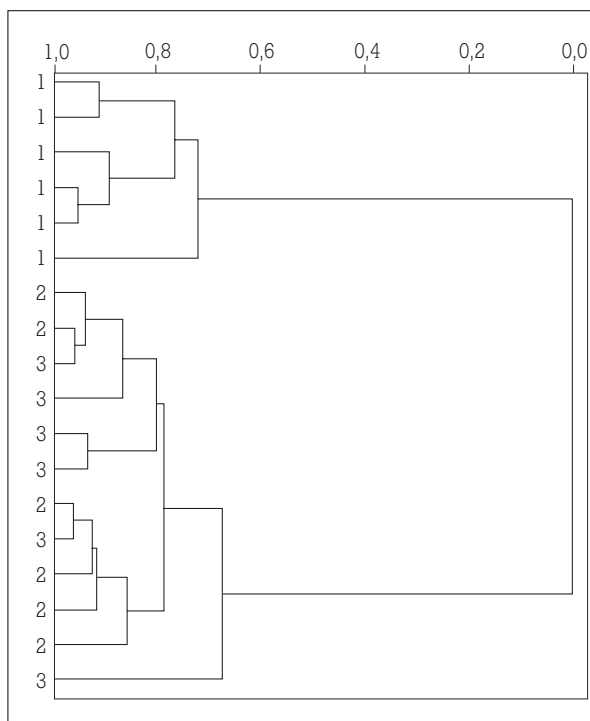


Figura 3 Análisis de agrupaciones de vinos de las DOC Priorat [1] y DO Tarragona [2]

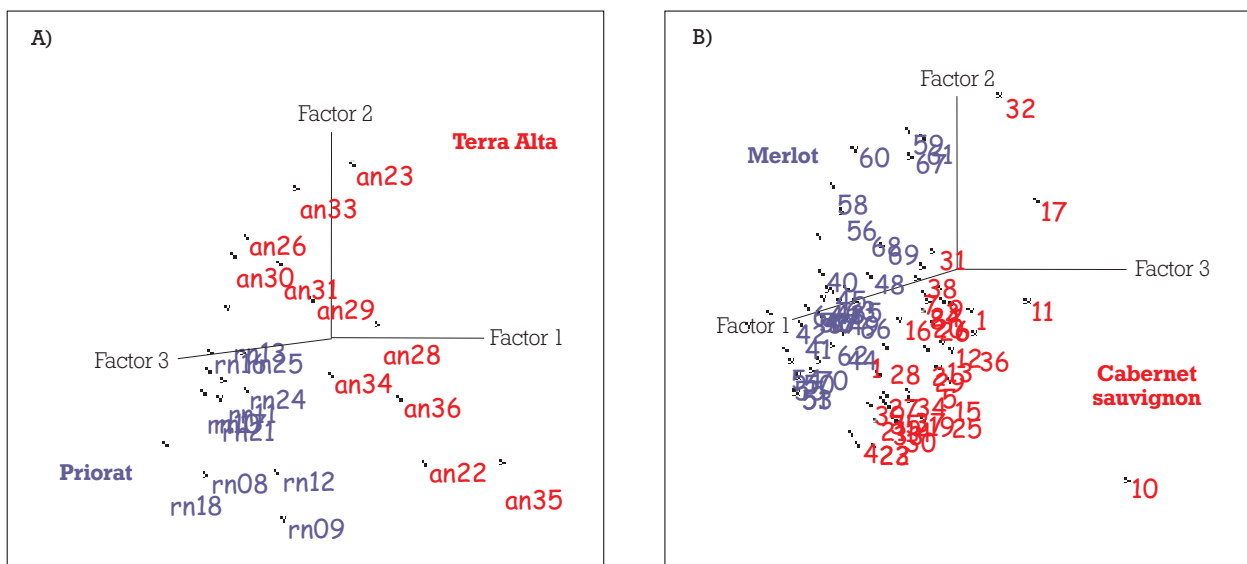


Figura 4 A) PCA que diferencia los vinos procedentes de la DOC Priorat de los de la DO Terra Alta. B) PCA que diferencia las variedades merlot y cabernet sauvignon de diferentes zonas geográficas

Aplicaciones

Son muchas y muy variadas las aplicaciones que han aparecido de la nariz electrónica en el control de calidad alimentario. Algunas de ellas, desarrolladas por nuestro grupo de investigación con un sistema de nariz electrónica basado en la técnica HS-MS, han abierto las puertas al análisis del aroma de vinos y aguardientes, bebidas que, por su elevado contenido en etanol, tenían vetado el acceso a estas tecnologías.

Una de las aplicaciones ha consistido en ver la efectividad del sistema HS-MS como emulador de un panel de catadores expertos que llevan a cabo un test triangular. El objetivo de este ensayo es distinguir, entre tres muestras (dos de ellas iguales), cuál es la que es diferente. Para este estudio se han empleado dos vinos, uno procedente de la DO Tarragona y otro de la DOC Priorat. Ambos vinos se han analizado, aleatoriamente, por sextuplicado, con lo que se han procesado un total de 18 muestras, 12 de ellas iguales entre sí. El tiempo total de análisis para cada muestra ha sido de solamente 10 minutos. Como puede apreciarse en el análisis de agrupaciones, las muestras de Tarragona son muy similares entre sí y, lo que es más importante, son diametralmente diferentes a las del Priorat.

En esta misma línea de investigación, otros estudios han consistido en diferenciar vinos según su DO o su variedad. En la figura 4A puede apreciarse, empleando en esta ocasión la técnica de análisis de componentes principales (PCA), vinos de dos zonas geográficas colindantes y obtenidos con las mismas variedades (garnacha y cariñena). En la figura 4B, por su parte, puede apreciarse el PCA que diferencia las variedades Merlot

y Cabernet sauvignon, independientemente de la zona geográfica que procedan.

Otras aplicaciones cualitativas, realizadas con narices electrónicas basadas en el sistema clásico de sensores, han permitido diferenciar alimentos como el café (incluso tratándose de mezclas de las mismas variedades) o los aceites de diferentes DO españolas y con distintas características nutritivas y organolépticas.

También existe la posibilidad de emplear técnicas de regresión (por ejemplo, PLS) con el fin de correlacionar la respuesta de la nariz electrónica (por ejemplo, espectro de masas), con el valor de una propiedad (por ejemplo, concentración de una determinada sustancia). Así se consigue disponer de un modelo matemático (una recta en el caso más simple) que permite determinar, por interpolación, el valor que tendría esa propiedad para una muestra desconocida. Así, por ejemplo, nuestro grupo de investigación ha podido establecer, con un elevado grado de precisión, una buena correlación entre los meses de añejamiento de rones cubanos y los correspondientes espectros de masas de la fracción volátil (fig. 5). Esto quiere decir que, si se analizara una muestra de ron problema, podría precisarse, con un error en este caso inferior a 3 meses (para un intervalo total de 40 meses de añejamiento), cuál es el tiempo que ese ron ha permanecido en barrica.

Todos los estudios descritos hasta aquí podríamos calificarlos como estudios cualitativos (o, como máximo semicuantitativos) basados en el procesamiento de los datos obtenidos a partir del sistema multisensor. Ésta es la aplicación más importante que han tenido hasta este momento los sistemas de olfacción electrónica.

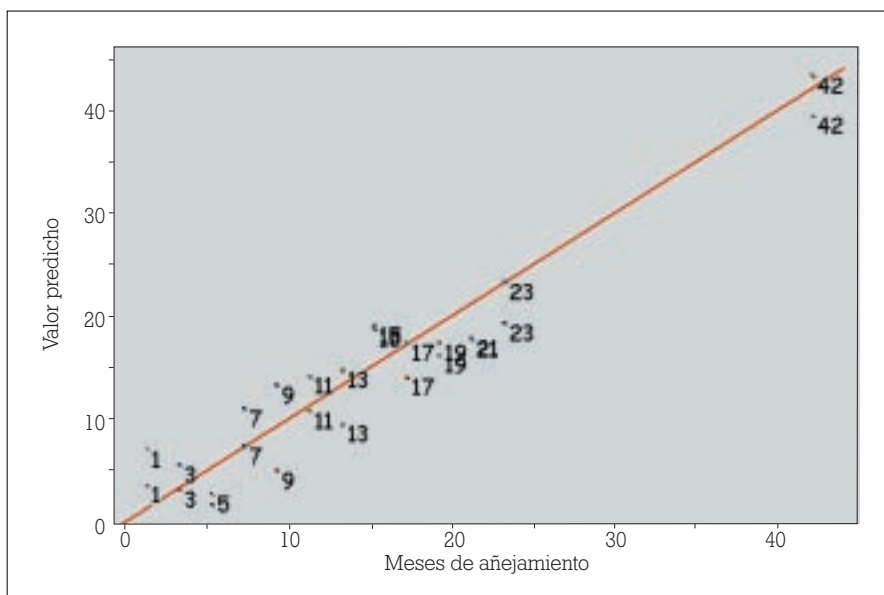


Figura 5 PLS del estudio de la crianza de ronés cubanos

Las aplicaciones cuantitativas, siempre reservadas a los sistemas de análisis cromatográfico, no habían sido abordadas hasta que los sistemas HS-MS han irrumpido en el mercado, posiblemente debido a que el interés principal que han tenido los sistemas de nariz electrónica ha sido el emular el sistema olfativo humano el cual, ciertamente, cualifica los aromas, sin cuantificarlos estrictamente.

La cuantificación de componentes aromáticos no era, pues, una cuestión primordial, sobre todo porque implicaba un alargamiento excesivo del análisis. No obstante, el hecho de que los sistemas HS-MS permitan obtener datos de la estructura misma de las moléculas, así como su abundancia, permite abordar estudios cuantitativos rápidos, si se trabaja con técnicas de regresión (PLS) de forma equivalente a la descrita para el estudio de añejamiento de los ronés. Abordar el problema de la cuantificación mediante sistemas de nariz electrónica es necesario si se desea controlar, por ejemplo, defectos aromáticos (*off flavours*) que no deberían estar presentes en las muestras a analizar y que, si lo están, es a bajos niveles de concentración. Tal es el caso del llamado sabor a corcho (*cork taint*), defecto que preocupa al sector enológico (tanto al productor de vinos como al de tapones de corcho para las botellas), principalmente debido a su bajo umbral de detección sensorial.

Uno de los responsables de este defecto es el 2,4,6-tricloroanisol (TCA). Cuando se trabaja con el espectrómetro de masas, puede correlacionarse la respuesta obtenida (abundancia de iones formados) con la concentración del componente o los componentes que ha generado el ión.

En la figura 6 se representa la concentración de TCA predicha por el modelo de regresión PLS vs la concentración real de TCA adicionada. Como puede apreciarse, hay una buena correlación. El método obtenido, que se validó interna y externamente mediante un conjunto de vinos adicionados con TCA diferentes a los utilizados en el estudio, puede ser útil como método de cribado de las muestras que contengan TCA y, debido a su rapidez y sencillez instrumental, puede ser de gran utilidad en control de calidad. Únicamente adolece de falta de sensibilidad (el LOD es de 100 µg/L), aspecto en el que se está trabajando actualmente en nuestro laboratorio.

Conclusión

La nariz electrónica es un instrumento que permite, en pocos minutos, comparar y clasificar los aromas de los productos alimentarios, por lo que resulta un excelente complemento para el análisis sensorial. Los estudios realizados hasta el momento muestran su aplicabilidad en el campo del control de calidad, incluso si se analizan bebidas alcohólicas, si se trabaja con un sistema HS-MS. Particularmente, se ha demostrado su utilidad en el control de variedades y mezclas, de su origen geográfico, de los vinos amparados en una DO y de los posibles defectos, como el producido por los tapones de corcho.

Bibliografía

Aznar M., López R., Cacho J.F., Ferreira V.: «Identification and quantification of impact odorants of aged red wines from Rioja. GC-olfactometry, quantitative GC-MS and odor evaluation of HPLC fractions», *J Agric Food Chem* 2001; 49: 2924-2929.

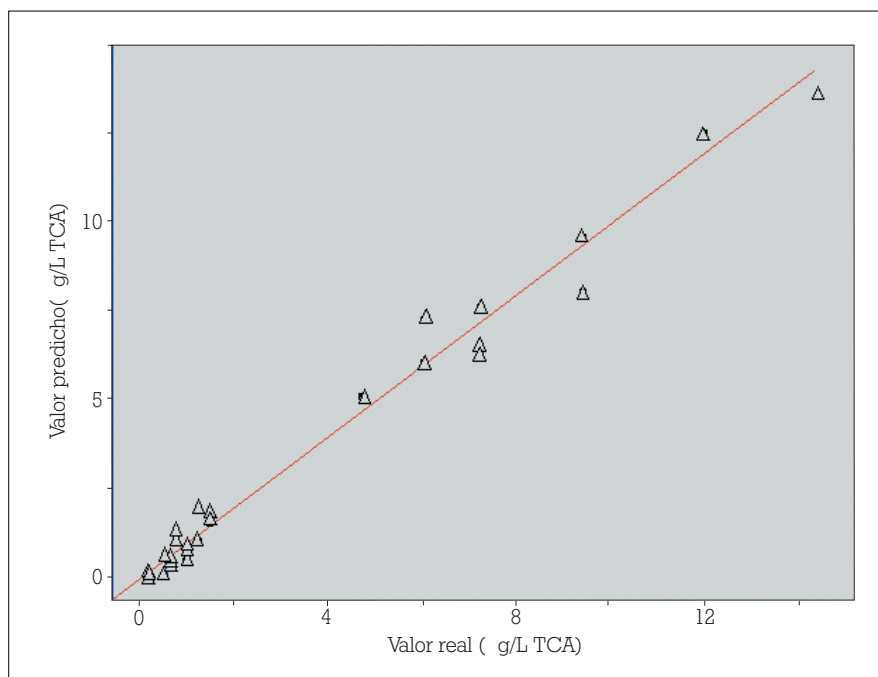


Figura 6 PLS que correlaciona el valor predicho con el valor real de la concentración de TCA condiciones, en el año 2001

- Dittmann B., Nitz S.: «Strategies for the development of reliable QA/QC methods when working with mass spectrometry-based chemosensory systems», *Sensors and Actuators B* 2000; 69: 253-257.
- Dittmann B., Nitz S., Horner G.: «A new chemical sensor on a mass spectrometric basis», *Adv Food Sci* 1998; 20 (3-4): 115-121.
- Gardner J.W., Bartlett P.N.: «A brief history of electronic noses», *Sensors and Actuators B* 1996; 18-19: 211-220.
- M. Riu M., Mestres M., Busto O., Guasch J.: «Determination of 2,4,6-trichloroanisole in wines by headspace solid-phase microextraction and GC-MS», *J Chromatogr* 2002 (en prensa).
- Martí M.P., Boqué M., Riu O., Busto O., Guasch J.: «Fast screening method for determining 2,4,6-trichloroanisole in wines using and electronic nose (HS-MS) and multivariate calibration», *Anal Chem* (enviado para su publicación).
- Martí M.P., Busto O., Guasch J.: «Anàlisi de l'aroma del vi mitjançant un nas electrònic», Segona Trobada de Joves

Investigadors dels Països Catalans. Societat Catalana de Química, Girona, 2002.

- Martí M.P., Mestres M., Busto O., Guasch J.: «Aplicación de la nariz electrónica en el control de calidad de vinos», *Alimentación, Equipos y Tecnología* 2000; 9: 129-133.
- Martí M.P., Mestres M., Busto O., Guasch J.: «Aplicación de la nariz electrónica al análisis del aroma del vino», XXIX Reunión Científica del Grupo de Cromatografía y Técnicas Afines. Alcalá de Henares, 2000.
- Mielle P.: «Electronic noses: towards the objective instrumental characterization of food aroma», *Trends in Food Science & Technology*, 1996; 7: 432-438.
- Schneider R., Baumes R., Bayonove C., Razungles A.: «Volatile compounds involved in the aroma of sweet fortified wines (vins doux naturels) from Grenache noir», *J Agric Food Chem* 1998; 46: 3230-3237.
- Strike D.J., Meijerink M.G.H., Koudelka-Hep M.: «Electronic noses: a mini review», *Fresenius J Anal Chem* 1999; 364: 499-505.

Lenguas electrónicas: sensores químicos aplicados a la medida del sabor y al control de calidad de los alimentos

Cecilia Jiménez, Francesc Xavier Muñoz,
André Bratov y Carlos Domínguez

Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM), CSIC,
Bellaterra, Barcelona

La legislación de la industria alimentaria viene siendo cada vez más estricta en cuanto a la calidad de los productos. El sabor y el aroma son aspectos que determinan el éxito de un alimento en un mercado cada vez más competitivo. Las características organolépticas de un producto se establecen mediante un grupo de expertos catadores. Sin embargo, su capacidad sensitiva está limitada con el tiempo, ya que se produce la saturación de los órganos receptores del sabor. Además, las condiciones ambientales pueden afectar a la objetividad del experto y, por tanto, a la reproducibilidad de las medidas. Por ello, resulta evidente la necesidad de desarrollar sistemas automatizados de análisis que permitan medir el sabor y, además, controlar la calidad de los alimentos, tanto durante el proceso de fabricación como en el producto final. Las lenguas electrónicas (*electronic tongues*) funcionan en este sentido. Pueden clasificar distintos sabores, detectar productos que alteren la calidad del alimento, productos contaminantes, impurezas y sustancias tóxicas. Como ejemplo, en el campo de la industria vinícola, una lengua electrónica puede discriminar entre varios vinos de una misma variedad, año o denominación de origen.

Podemos definir una *lengua electrónica* como un instrumento analítico que reproduce de forma artificial la sensación del sabor. Estos instrumentos normalmente constan de varios componentes: 1) un muestreador automático; 2) un conjunto de sensores químicos de distinta especificidad; 3) instrumentación para adquirir la señal, y 4) el software con los algoritmos apropiados para procesar la señal obtenida y obtener los resultados deseables según se requiera un análisis cualitativo o cuantitativo.

Sistema gustativo

Si consideramos cómo funciona el sistema gustativo humano podemos establecer cierto paralelismo con las lenguas electrónicas. La lengua es el principal órgano gustativo del cuerpo humano (fig. 1). Ésta es un cuerpo carnoso de gran movilidad, ubicado en el interior de la cavidad bucal. Su superficie está cubierta por pequeñas papilas, que son de tres tipos: las *calciformes* y las *foliadas* o fungiformes son papilas gustativas, mientras que las *filiformes* son papilas táctiles y registran la temperatura. Las papilas gustativas son las más importantes, ya que son las responsables del sentido del gusto. Las papilas gustativas están formadas por un racimo de células receptoras rodeadas de células de sostén o apoyo. Tienen un poro externo pequeño, a través del cual se proyectan finas prolongaciones de las células sensoriales, que son como diminutos pelillos expuestos a la saliva que entra por los poros. Un alimento introducido en la boca y disuelto en la saliva, interactúa con los receptores de los pelillos del gusto y genera un impulso nervioso que es transmitido al cerebro por medio de los cuatro nervios craneales. La sensación del sabor se obtiene una vez en el cerebro se han recibido las señales correspondientes al conjunto de células sensoriales para todas las sustancias químicas presentes, y éste las transforma mediante complejos sistemas de reconocimiento en un sabor concreto. La frecuencia con que se repiten los impulsos indica la intensidad del sabor; es probable que un tipo de sabor quede registrado por un tipo de células que hayan respondido de una forma más específica al estímulo.

A pesar de lo que nos pueda parecer, percibimos cinco sabores básicos: en la parte delantera de la lengua captamos el sabor dulce; atrás, el amargo; a los lados,

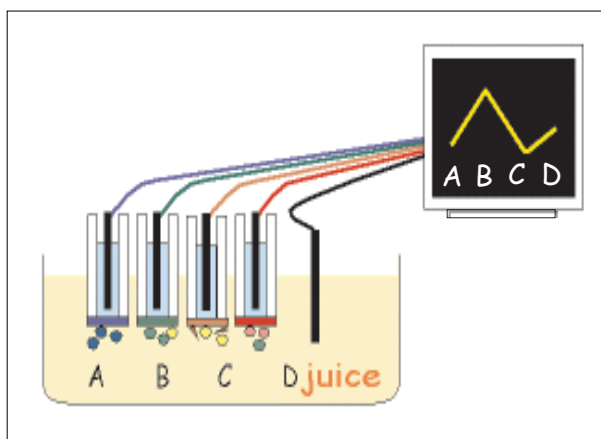


Figura 3 Esquema del funcionamiento de una lengua electrónica: cada sensor (A, B, C y D) responde de una forma distinta ante las especies de la muestra. Esta respuesta ofrece una huella característica

Cada uno de estos transductores tiene ventajas e inconvenientes según la aplicación. En general, se suelen usar conjuntos de sensores individuales que sigan el mismo principio de transducción. Ello permite una mayor simplificación en el proceso de adquisición y tratamiento de la señal. Las tecnologías actuales basadas en la microelectrónica tienden, sin embargo, a desarrollar conjuntos de sensores en un mismo sustrato (sensor *array*). De este modo, se reduce el tamaño del sensor y la circuitería se simplifica. También esta tecnología permite la integración de los sistemas de acondicionamiento y tratamiento de la señal en el mismo sustrato del sensor, con lo que se obtiene una mayor miniaturización del sistema de medida.

Lenguas electrónicas

Las lenguas electrónicas se componen básicamente de un conjunto de sensores (fig. 3). Cada sensor mide una propiedad determinada de la muestra. La respuesta del conjunto de sensores ofrece una huella característica para cada especie en la muestra. La suma de todas las huellas permite establecer un patrón de reconocimiento para cada sabor. Otra posibilidad de las lenguas electrónicas es el reconocimiento del sabor calibrando previamente el sistema con los resultados de un panel. Se pueden relacionar los distintos grupos de sabores establecidos por el sistema sensor según la composición química u origen con los sabores definidos por el panel.

Uno de los aspectos más críticos de las lenguas electrónicas es el posterior tratamiento de los datos para obtener una respuesta coherente y útil. Para ello se utilizan métodos de análisis multiparamétricos. Éstos recogen toda la información que se obtiene de los sensores, seleccionan la que puede ser más significativa y, mediante algoritmos para reconocimiento de patrones, interpretan la señal de todos los sensores.

Existe un gran número de métodos matemático-estadísticos: redes neuronales (*artificial neural networks*, ANN); análisis de componentes principales (*principal component analysis*, PCA); mínimos cuadrados (*partial least squares*, PLS); análisis discriminante (DA), etc. Todos estos métodos tienen características distintas en cuanto al tratamiento de los datos. La mayoría se utiliza para reconocimiento de patrones: el sistema sensor es expuesto a diferentes concentraciones de los analitos que se supone tendrá la matriz de la muestra para que establezca patrones de respuesta. Este proceso es como un entrenamiento del sistema: las respuestas en función del tipo de alimento (p. ej., café, vino, té, etc.) deben ser almacenados en una base de datos. A partir de esta base de datos se pueden establecer clasificaciones de cada muestra según el origen, el año, la composición química, etc.

La investigación y desarrollo de las lenguas electrónicas es actualmente muy extenso (véase la bibliografía). Los grupos que han trabajado tradicionalmente en el campo de sensores y de sistemas de tratamiento de datos son los principales que abren líneas de desarrollo en este campo. El tipo de sensores más usuales son los electroquímicos, entre ellos los potenciométricos y voltamperométricos. Los sensores electroquímicos ofrecen una gran versatilidad –pueden detectar especies iónicas y moleculares–, se pueden introducir en muestras no homogéneas y son sencillos de manipulación. Actualmente existen en el mercado varios instrumentos que actúan como lenguas electrónicas. Hay dos que cabe destacar:

- **αASTREE de AlphaMOS:** Utiliza un *array* de siete sensores basados en ISFET con distintas membranas selectivas a iones.
- **SA401 de Anritsu Corp.:** Utiliza un *array* de ocho sensores potenciométricos que contienen membra-

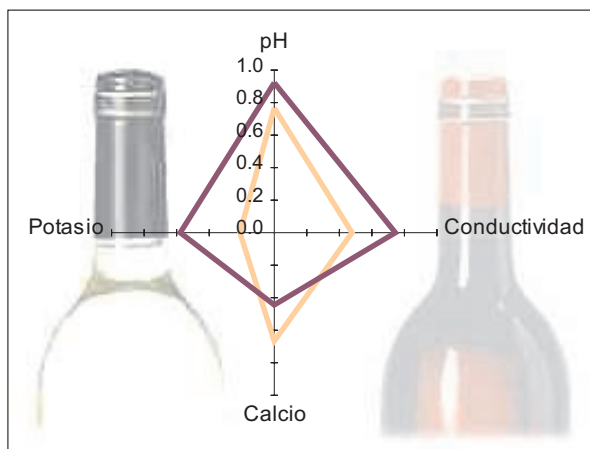


Figura 4 Respuesta de un sistema formado por cuatro microsensores de estado sólido (ISFET e IDS). Patrón de respuesta obtenido para una serie de vinos blancos y tintos

nas lipídicas en analogía a las membranas celulares.

Ambos instrumentos constan de un autómuestreador y de un sistema informático muy potente que permite analizar la respuesta de los sensores con varios métodos estadísticos y obtener tanto resultados cualitativos como cuantitativos.

Los sensores de estado sólido fabricados con tecnologías microelectrónicas como ISFET, microelectrodos amperométricos, IDS para medida de conductividad, etc., suponen un gran beneficio en este campo. Todos ellos pueden aplicarse a muestras de alimentos y bebidas, y tienen como mayor ventaja su robustez y pequeño tamaño. Además, al fabricarse con sustratos semiconductores, se pueden integrar varios sensores y la circuitería de adquisición de la señal en un mismo sustrato, obteniendo los llamados *sensores inteligentes (smart sensors)*.

Estos sensores se fabrican en el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB) y se han aplicado en muestras de bebidas para comprobar su funcionamiento. En la figura 4 se puede observar el resultado obtenido de medir cuatro parámetros en vinos blancos y tintos, y cómo, realizando un diagrama radial con los valores promedio, se puede establecer un patrón de respuesta diferente para vinos blancos y tintos. Asimismo, en la figura 5 se muestra el resultado obtenido con varias aguas minerales. En este caso se han utilizado más parámetros para poder establecer un patrón de respuesta para cada agua. El tratamiento de los datos se ha realizado con el método quimiométrico de componentes principales, PCA. Se puede establecer para estas muestras una relación bastante clara entre la composición química del agua y los resultados obtenidos. Por ejemplo, se puede observar que existe una diferencia importante entre las aguas carbonatadas (Vichy y Malavella) y las demás.

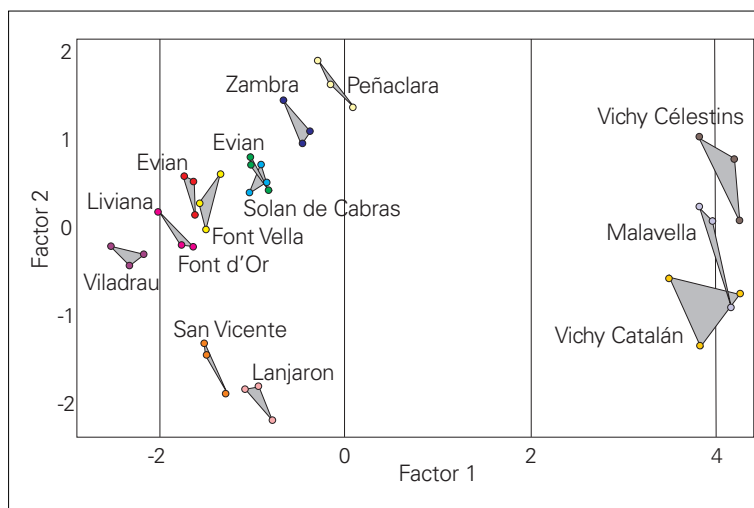


Figura 5 Respuesta obtenida con microsensores de estado sólido para un conjunto de aguas minerales. Mediante un análisis de datos a través de PCA se puede clasificar esta agua según la marca

A través de estos ejemplos se demuestra cómo los sensores pueden utilizarse para la medida de alimentos, tanto desde el punto de vista cuantitativo, analizando algún compuesto determinado, como desde el punto de vista cualitativo, obteniendo un patrón de respuesta según el sabor.

Bibliografía

- AlphaMOS, Toulouse, <http://www.alpha-mos.com/>
- Buehler M.G. *et al.*: «Advanced Electronic Tongue concept», IEEE Aerospace Conference, 2002.
- Legin A. *et al.*: «Application of electronic tongue for quantitative analysis of mineral water and wine», *Electroanalysis* 1999; 11: 814-820.
- Ruil A. *et al.*: «Artificial taste sensor: Efficient combination of sensors made...», *Langmuir* 2002; 18: 239-245.
- Toko K.: «Electronic Tongue», *Biosensors and Bioelectronics* 1998; 13: 701-709.
- Winqvist F. *et al.*: «A hybrid electronic tongue», *Analytica Chimica Acta* 2000; 406: 147-157.
- Toko&Hayashi Lab., <http://ultrabio.ed.kyushu-u.ac.jp/tope.htm>

Aplicaciones de los gráficos y visión por ordenador. Nuevas interfaces de usuario-máquina

Francisco José Perales

Unidad de Gráficos y Visión por Ordenador,
Departamento de Matemáticas e Informática,
Universitat Illes Balears, Palma de Mallorca

Gráficos y visión por ordenador y el movimiento humano: introducción

En la actualidad, la investigación básica y aplicada en el campo de la infografía o informática gráfica ha permitido la creación de nuevas metodologías, tecnologías y herramientas tanto software como hardware, que permiten la manipulación de gran cantidad de datos y visualización en tiempo real. El desarrollo teórico en los modelos de representación de objetos han permitido abordar el estudio de sistemas articulados y deformables con unas complejidades muy elevadas. Todo este avance teórico y metodológico no hubiese sido aprovechable sin el desarrollo en paralelo de los sistemas de hardware. Éstos permiten hoy en día la visualización rápida y precisa de las estructuras anteriormente mencionadas. Al mismo tiempo, la interacción persona-máquina está evolucionando de manera que el usuario final pueda interactuar de manera más directa con el sistema utilizando sus propios sentidos. Es habitual encontrar un enlace entre los dispositivos físicos y la aplicación, de manera que esta interacción se realice de forma lo más natural posible. Es la *realidad virtual*, el conjunto integrado de sistemas físicos, periféricos y algoritmos óptimos que permite a un usuario percibir los modelos, objetos o escenas por medio de sus propios sentidos de forma directa e intuitiva. La popularidad de los gráficos y de las imágenes en las aplicaciones actuales ha motivado este desarrollo espectacular. La red Internet ha facilitado también un amplio rango de posibles aplicaciones donde la interactividad con modelos gráficos e imágenes es habitual.

Por otra parte, las técnicas de visión por ordenador, que afrontan el problema inverso a las de gráficos por

ordenador, se han visto beneficiadas y se ha producido una sinergia positiva entre áreas inicialmente disjuntas, pero que en la actualidad comparten desarrollos y aplicaciones complementarias. El procesamiento digital de imágenes y los algoritmos de visión por ordenador son una herramienta fundamental en las aplicaciones en las que se requiere una interpretación de la escena y que pueden combinar información real con el modelo geométrico teórico considerado.

Finalmente, el estudio de movimiento humano es un tema tratado desde hace mucho tiempo y por múltiples culturas y civilizaciones. Hoy en día, y con la ayuda de las nuevas tecnologías, es posible realizar este estudio con los medios audiovisuales y con el ordenador como principal herramienta de procesamiento masivo de datos. La capacidad del hardware actual y las herramientas software disponibles hacen perfectamente viable la visualización en tiempo real de objetos complejos, como es evidentemente la estructura del cuerpo humano. Todos estos ingredientes científicos tecnológicos permiten modelizar la persona o individuo como un conjunto de sólidos articulados (los huesos) con elementos deformables (los músculos), si es preciso, y visualizarlo sobre un dispositivo bidimensional como es el monitor o bien un entorno inmersivo tridimensional. Al mismo tiempo, la mecánica actual permite realizar un estudio biomecánico del sistema articular propuesto como si fuese un mecanismo físico convencional. El problema de todos estos procesos es la generación precisa de los modelos que permitan simular el comportamiento real de la persona en movimiento.

Por ello, una de las principales fuentes de información para el estudio del movimiento del cuerpo humano ha sido siempre la obtención directa de datos captados a partir del movimiento de un sujeto objeto de estudio.

Esta captación se realiza tradicionalmente mediante diferentes técnicas, ya sea a partir de informaciones proporcionadas por sensores electrónicos situados en puntos estratégicos del cuerpo o mediante la utilización de marcadores reflectantes cuyas posiciones son extraídas a partir del análisis digital de imágenes obtenidas estereoscópicamente. La problemática planteada en estos sistemas está relacionada, por una parte, con la incomodidad y, a veces, la imposibilidad de situar sensores conectados eléctricamente y con un reducido ámbito de efectividad (basados en campos electromagnéticos) y, por otra, con la dificultad que plantean las posibles oclusiones de las marcas reflectantes por el mismo cuerpo y la difícil correlación entre la zona en que se sitúan las marcas y los puntos reales en los que se transmite el movimiento (articulaciones). Otra posibilidad son los sistemas electromecánicos que simulan un esqueleto paralelo y que permiten una gran rango de captura de datos pero que su invasividad es muy alta.

Breve introducción histórica

La evolución inicial de los «gráficos por ordenador» –término equivalente al inglés *computer graphics* o al francés *infographie*– ha sido lenta y costosa, debido fundamentalmente a la falta de software y sobre todo a la baja potencia de los recursos de hardware disponibles. Entre los factores que más influyeron en ello destacamos:

- El coste del hardware específico (solución: circuitos VLSI).
- La inexistencia de medios de ayuda software (verificadores, simuladores).
- La necesidad de interactividad (los sistemas interactivos eran muy costosos).
- La no portabilidad del software (estándares internacionales: CORE, GKS, PHIGS, Librerías).

Se necesitaron muchos años de investigación y desarrollo para conseguir estos avances. En 1950, en el MIT, el Massachusetts Institute of Technology, se conecta la primera pantalla de CRT controlada por ordenador (el WHIRLWIND I) para generar imágenes sencillas. Durante toda la década de los cincuenta, los *gráficos interactivos* alcanzaron un desarrollo muy limitado debido a que los ordenadores aún no estaban capacitados para actuar interactivamente con el usuario de un modo rápido y eficaz. Por entonces el uso del ordenador estaba limitado a la generación de costosos cálculos numéricos en el campo de la física y armamento militar. Sólo al final de la década, con la aparición, también en el MIT, de los ordenadores TX-0 y TX-2 se hizo posible la interactividad, con lo que el interés por los gráficos inició un moderado aumento.

Siempre existen ciertas fechas o eventos clave que marcan el desarrollo y popularización de determinadas herramientas o técnicas. En este campo, el año 1962 marcó el comienzo de los gráficos por ordenador como una nueva rama de la informática gracias a la publicación de la Tesis Doctoral de Ivan E. Shuterland, titulada «Sketchpad: a man-machine graphical communication system», que demostró el interés de los gráficos como un verdadero campo de investigación.

A mediados de la década de los sesenta, grandes empresas realizan la introducción de gráficos en sus proyectos de diseño (General Motors, Bell Telephone Laboratories y Lockheed Aircraft, entre otros), iniciándose así la edad de oro de los gráficos computacionales. Durante la década de los setenta, se consiguió una mayor expansión debido fundamentalmente a ordenadores mejores y más baratos, y a dispositivos (pantallas Tektronic de almacenamiento) y paquetes gráficos (Plot 10). En esta época los gráficos todavía eran caligráficos.

Ya en la década de los ochenta se realiza la popularización masiva de los gráficos con su introducción en pequeños sistemas informáticos (ordenadores caseros y personales), la aparición de los gráficos *raster* de alta resolución y la posibilidad de utilizar la tecnología de televisión estándar para su visualización.

En la actualidad, nadie pone en duda la utilidad y necesidad de los gráficos en la gran mayoría de aplicaciones, ya sean en el dominio de la gestión, artístico o científico. El desarrollo de estaciones de trabajo con grandes capacidades de cálculo a un precio realmente asequible ha permitido la generación en tiempo real de gráficos realistas. En el mundo del ordenador personal también las prestaciones gráficas actuales permiten la generación de imágenes sintéticas con un aceptable grado de realismo. En un futuro próximo, las aplicaciones de realidad virtual serán factibles en entornos con un coste muy asequible.

Actualmente, las nuevas tecnologías permiten fusionar la imagen real con la sintética y definir los nuevos sistemas de realidad virtual y aumentada.

Aplicaciones actuales y futuras

Consecuencia de este avance en las técnicas y los dispositivos gráficos, las posibles aplicaciones han aumentado considerablemente. Existen múltiples tipos de aplicaciones, pero muchas se pueden incluir en cuatro áreas principales:

- Visualización de información.
- Diseño asistido por ordenador.
- Simulación.
- Interficies de usuario.

Independientemente de estas grandes áreas, la utilización de estos gráficos puede encontrarse en la resolución de problemas de campos diversos: negocios, industria, arte, entretenimiento, educación, publicidad, investigación, medicina, etc. Comentaremos, a continuación, brevemente las principales aplicaciones en las áreas mencionadas.

Visualización de información

Las técnicas gráficas convencionales han sido y son un medio que ha permitido transmitir información entre diferentes culturas. Aunque se hablen o se escriban diferentes lenguajes, las imágenes o gráficos y el sistema visual humano han permitido procesar dicha información y obtener conocimientos en múltiples disciplinas. Desde los Babilonios y los griegos, pasando por los sistemas de navegación y de información geográfica, la información visual (planos, mapas, dibujos, etc..) ha sido siempre un soporte fundamental para la comunicación.

En la actualidad los programas gráficos tienen la capacidad de generar varios tipos de gráficas, tales como, esquemas de barras, de pastel, etc... En los negocios, las gráficas transmiten gran cantidad de información, por lo que son utilizadas en resúmenes financieros, estadísticos, matemáticos, científicos o económicos, utilizándose incluso una combinación de ellas en su presentación.

Desde el punto de vista médico, el manejo de múltiples fuentes de información y el análisis de las mismas se ve mejorado por las técnicas de análisis de imágenes. Las nuevas tecnologías en este campo (CT, MRI, PET, etc.) generan información visual en tres dimensiones muy útil para el diagnóstico de enfermedades.

Con la ayuda de los supercomputadores los investigadores actuales pueden manejar gran cantidad de información que anteriormente resultaba imposible. El campo de la visualización científica suministra las herramientas gráficas para ayudar a interpretar la gran cantidad de datos numéricos generados por dichos procesos.

Diseño asistido por ordenador o CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing)

Durante muchos años, el principal uso de los gráficos por ordenador residía en el campo del diseño debido a la posibilidad de dibujar objetos de forma interactiva tanto esquemáticamente como con más realismo. Además, pueden hacerse cambios experimentales de forma muy rápida, lo que supone una gran ayuda al proceso de fabricación industrial. El proceso de diseño es interactivo. Raramente en un proyecto real el problema especificado posee una única solución óp-

tima. Normalmente estos problemas son sobredeterminados, es decir no existe una solución óptima, y por tanto tienen múltiples soluciones que cumplen con la especificación. El proceso interactivo permite un test de la solución y refinamiento de la misma y sirve de base para la generación de nuevas soluciones más eficientes.

En el campo de la electrónica el diseño de circuitos es otra de las áreas en las que se utilizan estas técnicas. La visualización del gráfico puede usarse como ayuda para definir el prototipo más adecuado, tanto para la minimización del número de componentes como del espacio requerido por el circuito. Los diseños de aviones, automóviles, naves espaciales y barcos emplean así mismo técnicas de CAD/CAM. Secciones individuales y componentes del vehículo pueden diseñarse por separado y luego visualizarse como un todo.

Otro de los campos específicos se sitúa en la construcción de edificios. Los arquitectos diseñan interactivamente planos de plantas, medidas de puertas y de ventanas, etc., además de contar con la posibilidad de visualizar la apariencia general del proyecto en tres dimensiones.

Simulación

Desde el momento que los sistemas gráficos disponen de capacidad para generar imágenes sintéticas en tiempo real, los ingenieros y científicos diseñaron mecanismos para simular la realidad dentro del ordenador.

Como ejemplos de estas aplicaciones podemos citar la animación por ordenador, los simuladores de vuelo, los videojuegos, la realidad virtual, etc. Tanto en el diseño de arte creativo como comercial se utilizan frecuentemente los gráficos por ordenador. Existen programas que permiten a los artistas no sólo crear imágenes en la pantalla, sino también «dibujos animados» de personas u objetos. En realidad se dibujan las imágenes en «tabletas gráficas» usando un bolígrafo como dispositivo de entrada o mediante un modelador tridimensional. La generación de arte por ordenador también se utiliza en aplicaciones comerciales. Logotipos y diseños publicitarios para T.V., se producen normalmente mediante esta técnica. Una imagen representa un «frame» (fotograma) en una secuencia de animación. Cada «frame» se dibuja y almacena con un cambio en la posición de los objetos de un «frame» al siguiente: de forma que al visualizar los «frames» de forma consecutiva tendremos una animación. Esta técnica se utiliza para crear dibujos animados y películas de ciencia ficción. Los métodos de animación se aplican en educación, arte, formación e investigación.

Los simuladores de vuelo, se utilizan en el entrenamiento de pilotos y se han diseñado sistemas especia-

les específicos a cada aeronave. La simulación además permite investigar la conducta de los pilotos en situaciones límite. Las reacciones son luego utilizadas para optimizar el diseño del vehículo y maximizar su seguridad.

En la actualidad existe la posibilidad de integrar en un todo diferentes formas de información (vídeo, audio, texto, etc.) y además permitir que el usuario interactue de forma global con todas ellas. Es la Realidad Virtual, la que permite que el usuario se sienta inmerso dentro de un sistema que le habilita a comunicarse mediante un interface de usuario diferente a las convencionales. El usuario forma parte del entorno y puede interactuar con él de forma natural. Existen ya aplicaciones donde se pueden realizar operaciones médicas virtuales o a distancia.

Interfaces gráficas de usuario (GUI Graphical User Interfaces)

La entrada de las opciones en muchos programas es realizada por un conjunto de «iconos». Estos son símbolos gráficos alusivos a la opción a la cual representan. El usuario realiza la elección apuntando al icono apropiado. La ventaja de este sistema es que el dibujo precisa menos espacio de pantalla que la descripción correspondiente a la función y es comprendida más rápidamente. Existen formas gráficas para representar acciones, por ejemplo, el borrar un archivo es representado por la papelera, etc. Los iconos pueden usarse en muchas aplicaciones, tales como CAD, textos, etc. Con la aparición de Internet y los navegadores, la utili-

zación de esta interface gráfica ha llegado a todos los usuarios, siendo un estandar de facto la utilización de GUI en todas las aplicaciones comerciales.

En la actualidad se introducen los estándares de generación de Interfaces Gráficas (GUI). El objetivo es permitir una portabilidad entre sistemas, de manera que los programadores puedan concentrarse en la generación de su propia aplicación utilizando un interface gráfico común y compatible.

Ejemplos de estos estándares son: X-Window system (para entornos basados en sistemas Unix. Silicon Graphics, Sun Microsystems, HP, PC con Linux, Mac con Linux, etc.), Windows Microsoft (Entornos PC), Finder Appel (Entornos Mac).

Resumen

Los sistemas actuales de comunicación entre el usuario y el ordenador deben evolucionar de manera que las capacidades gráficas y de reconocimiento de los sistemas controlados por un ordenador permitan una interacción inmersiva en el espacio euclídeo 3D. Las aplicaciones que pueden beneficiarse de estos sistemas son múltiples por no decir innumerables. Los dispositivos físicos y el software deben dar soporte a estas nuevas formas de interactuar de manera que la relación entre el usuario y los entornos informáticos sean más naturales. El camino está ya trazado pero es necesario mejorar aspectos técnicos en determinados sentidos. Aunque el de la vista es primordial, el oído y tacto son muy importantes también en la interacción con los entornos virtuales y de realidad aumentada.

Tecnologías

En los últimos años, las tecnologías que de algún modo intentan imitar los sentidos humanos han experimentado un avance espectacular. El desconocimiento que muchos de los participantes del congreso tenían del estado de las investigaciones en este ámbito generó un vivo debate en el que se desentrañaron algunos conocimientos más de los que ya habían avanzado los ponentes en sus charlas.

Algunos de los participantes se interesaron por la posibilidad de transmitir señales olfativas y gustativas a través de Internet, de manera equiparable a como se están transmitiendo imágenes. Al parecer, los sistemas que están disponibles actualmente son bastante rudimentarios; existen procesadores que actuando en respuesta a señales eléctricas adecuadas producen mezclas de aromas en concentraciones preestablecidas.

Una de las aplicaciones que más habitualmente se contempla de los sistemas de narices y lenguas electrónicas es el control de calidad. En las ponencias se aclaró que estos sistemas pueden ser altamente específicos y sensibles, aunque a algunos asistentes les quedó la duda de qué ocurriría si una muestra contuviera un producto contaminante para el que no se ha



Cecilia Jiménez



Olga Busto

predefinido un sensor específico. Olga Busto aclaró que con el sistema que ellos están utilizando, basado en un espectrómetro de masas, la presencia de una sustancia contaminante sí se detectaría, ya que produciría una señal no esperada. Además, destacó que este sistema cuenta con la ventaja de actuar de forma muy rápida, algo a tener en cuenta si se tiene que intervenir en el proceso de producción o de distribución del producto.

Otra de las cuestiones que se plantearon hacía refe-



Joan Batlle

rencia a la capacidad de las lenguas artificiales para detectar texturas. En este sentido, parece que no se ha investigado mucho, aunque se señaló que sí existen instrumentos sencillos que permiten medir, como preguntó uno de los participantes, si un producto es más o menos crujiente. En el mismo estado embrionario se encuentran los mecanismos que intentan imitar el sentido del tacto. Desde otra perspectiva, existen sensores que detectan por ejemplo, si una fruta será, cuando madure, más o menos esponjosa.

Un proceso mucho más avanzado e introducido en el mercado desde hace varios años son los sistemas de visión artificial aplicados al control de calidad, especialmente cuando la característica determinante es el color. Del mismo modo, existen sistemas que pueden detectar si existe crecimiento microbiológico contaminante en una muestra determinada.