

LA ARQUITECTURA DE REPRESENTACION DE DATOS. DISEÑO ARQUITECTONICO APLICADO A LA VISUALIZACION EN ANESTESIOLOGIA.

Dr Julio Bermudez

University of Utah (Graduate School of Architecture), USA
bermudez@arch.utah.edu

Jim Agutter

University of Utah (Graduate School of Architecture), USA
agutterja@arch.utah.edu

Dr Dwayne Westenskow

University of Utah (School of Medicine), USA
dwayne@remi.med.utah.edu

Yi Zhang

University of Utah (Department of Bioengineering), USA
yzhang@Antonin.med.utah.edu

Dr Stefano Foresti

University of Utah (Center for High Performing Computing), USA
stefano@chpc.utah.edu

Noah Syroid

University of Utah (Department of Bioengineering), USA
noahs@abl.med.utah.edu

Brent Lilly

University of Utah (Department of Mathematics), USA
lilly@math.utah.edu

Dr David Strayer

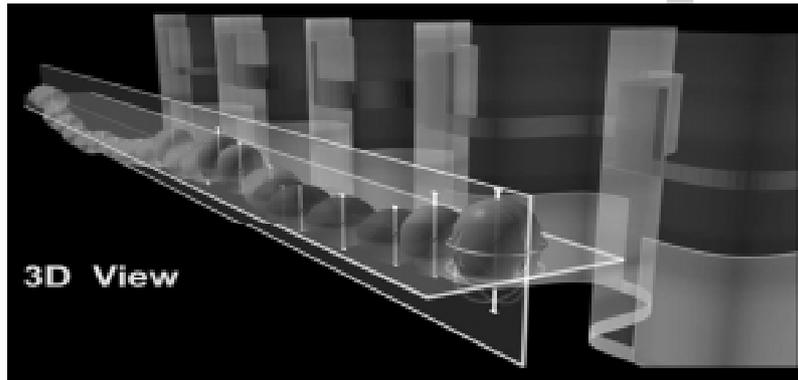
University of Utah (Department of Psychology), USA
david.strayer@psych.utah.edu

Dr. Frank Drews

University of Utah (Department of Psychology), USA
drews@csbs.utah.edu

Debra Gondeck-Becker

Pine Technical College (Minnesota)
gondeckd@ptc.tec.mn.us



Abstract

This paper presents the architectural process and products that are being employed in an ongoing multidisciplinary research in anesthesiology. The project's goal is to develop a new data representation technology to visualize physiologic information in real time. Using physiologic data, 3-D objects are generated in digital space that represent physiologic changes and show functional relationships that aid in the detection, diagnosis, and treatment of critical events. Preliminary testing results show statistically significant reduction in detection times. The research outcome, potential, and the NIH grant supporting the team's scientific methods demonstrate the contributions that architecture offers to the growing field of data visualization.

Encuadre e Importancia de la Investigación

La gran mayoría de los trabajos en visualización médica se han mantenido hasta ahora fuera del ámbito de la representación de procesos y estados fisiológicos. Su interés se ha concentrado en la representación de estructuras orgánicas. Así vemos un gran desarrollo en el campo de visualización anatómica, que puede ser dividido en tres áreas fundamentales: (1) imágenes estáticas (ej. , radiografías, escaneos CAT, etc.), (2) modelaciones interactivas pero no en tiempo real (MacLeod y Johnson 1993), y (3) representaciones dinámicas interactivas y en tiempo real (ej. , Metaxas 1996). La falta de atención a la visualización en tiempo real de datos metabólicos es remarcable, dada la importancia y el poder que tiene esta información en el diagnóstico médico.

Las investigaciones recientes en la anestesiología dan claras evidencias

que la visualización de condiciones fisiológicas permite interpretaciones de datos médicos más rápidas y exactas que las representaciones numéricas o de onda usuales, implicando una mayor seguridad en la toma de decisiones, una disminución del stress del profesional, y un mejoramiento en la supervisión del paciente (Deneault y otros 1991, Gurushanthaiah y otros al 1995, Michels y Westenskow 1996) Esta ponencia presenta un proyecto de investigación interdisciplinario enfocado a este área tan poco desarrollada de la imaginería médica: La visualización de datos fisiológicos.

La Relevancia del Diseño Arquitectónico en la Visualización Médica

Trabajar en la visualización médica comúnmente significa *mejorar* un sistema dado de imágenes o de comportamientos anatómicos de modo tal que sean más legibles o actúen en forma más exacta. En este tipo de trabajo solo hay una

necesidad mínima de diseño debido a que las estructuras orgánicas ya poseen sus propias formas y movimientos característicos. En contraste, los datos fisiológicos no tienen ninguna forma particular y por lo tanto exigen la creación de representaciones. Los parámetros numéricos (ej., una presión arterial de 120/80, un ritmo cardíaco de 70/minuto, etc.) no tienen ningún imperativo espacial o gráfico excepto en los diagramas o ploteados construidos en el espacio matemático. Nuestro trabajo de investigación por lo tanto se ocupa de la **invencción** (y no el mejoramiento) de visualizaciones.

El aporte de la arquitectura a tal tarea de invención visual se basa en el conocimiento disciplinario de semiótica formal. Dado que los arquitectos se ocupan cotidianamente de la sintaxis, semántica, y pragmática de geometrías bi y tridimensionales, la disciplina ha recogido una base de conocimientos comprensiva de la naturaleza, los métodos, y el valor del diseño (abstracto, geométrico) en 2 y 3 dimensiones así como también de su relación con la psicología humana (Albers 1975, Arheim 1977, Broadbent y otros 1980, Ciocier 1993, De Saumarez 1964, Wong 1977). Nuestro modelo de representación y organización de datos fisiológicos surge de la utilización de principios, (ej., escala, forma, ritmo, balance, color, tectónica, estructura, etc.), elementos (Ej., Línea, figuras, objetos, espacio, etc.) y reglas de organización (ej., jerarquía, el acordar, tipología, simetría, etc.) básicas de diseño.

Áreas de Aplicación y Metodología

La Anestesiología ofrece una de las mejores áreas de aplicación para un nuevo modelo de visualización de procesos fisiológicos. El anestesiólogo debe monitorear constantemente 32 parámetros, presentados por separado en ploteos bidimensionales de onda y numéricos, para determinar si el paciente está estable y en el estado fisiológico deseado (ver Ilustración 1). El problema que aborda el diseño es la creación de un nuevo tipo de visualización que presente estas 32 variables fisiológicas

correlacionadas y no-espaciales en tiempo real, de tal manera que se mejore en exactitud y velocidad la detección, diagnóstico y tratamiento con respecto a lo que es hoy posible usando los sistemas existentes.



Ilustración 1: Ejemplo de un monitor común de datos fisiológicos (Hewlett Packard, Rockville, MD). Este tipo de "visualización" se caracteriza por el uso de representaciones discretas y no interactivas de datos fisiológicos en forma numérica y de onda.

La investigación ha sido conducida por un equipo interdisciplinario con representantes de arquitectura, bioingeniería, informática, medicina, y psicología. Durante los primeros 2 años, las interacciones del equipo evolucionaron naturalmente hacia el marco operativo del proceso del diseño. La validez de este tipo de método de investigación ha sido ampliamente demostrada (Lawson 1980, Rowe 1987, Schön 1983). Así y todo, hubo ciertas dudas preliminares respecto de su adopción. Sin embargo, el equipo terminó aceptando el proceso del diseño como metodología sistemática y experimental luego de verificar su capacidad concreta para avanzar, desarrollar, probar, seleccionar y comunicar conocimientos.

Premisas

El equipo de investigación acordó aplicar las siguientes siete premisas de diseño para dirigir el proceso de invención e implementación de un nuevo paradigma de visualización médica:

- *Inventar* una semiótica formal para relacionar representaciones y significados fisiológicos;
- *Integrar* los datos de modo que las representaciones revelen relaciones e

interacciones intrínsecas a la información;

- *Proveer interactividad* para facilitar el acceso del usuario a la información;
- Mapear la información en una *arquitectura de representación de datos tridimensional* para mejorar su comprensión e integración y al mismo tiempo aumentar significativamente el número de variables a representar;
- *Utilizar la plataforma PC* para asegurar su adaptabilidad y adopción universal en ámbitos médicos;
- *Permitir la distribución en red* para poder acceder a la visualización y/o datos en bruto sin importar la distancia (usando un ancho de banda moderado);
- Tener como objetivo la *simplicidad* formal, funcional, y técnica.

El proyecto aquí presentado consiste en la visualización de 13 y no 32 variables fisiológicas. La reducción del número de parámetros fue basada en la carencia de suficientes recursos en el comienzo de este proyecto. Esta simplificación hizo posible el proyecto mientras que permitió confrontar desafíos en el diseño visual y computacional que eran cualitativamente idénticos (y así su solución transferible) a una arquitectura de representación de datos basada en la expresión completa de las 32 variables. Contar con los 13 parámetros también permitió la prueba y puesta en práctica de las siete premisas de diseño establecidas. Las 13 variables fisiológicas seleccionadas fueron:

- *Función cardíaca*: volumen de bombeo, volumen cardíaco, ritmo cardíaco, presiones arteriales, y saturación de oxígeno arterial.
- *Función respiratoria*: volumen respiratorio, ritmo respiratorio, óxido nítrico, oxígeno, dióxido de carbono, y presión en la vía respiratoria.

Resultado

La Ilustración 2 muestra nuestro sistema tridimensional de visualización de datos fisiológicos en tiempo real. Los mismos datos son representados en cuatro ventanas interactivas; cada una diseñada para expresar cierta información detallada y complementariamente.

Cualquier desviación respecto de tramas de referencia, formas, espaciamiento, y colores "normales" ayuda al anestesiólogo o médico a **identificar cambios**. La estructura de la visualización mapea cada variable al modelo mental del anestesiólogo-médico, para ayudar a **diagnosticar el problema**. Las relaciones funcionales que conectan los elementos de la visualización ayudan al usuario a **tratar el problema**.

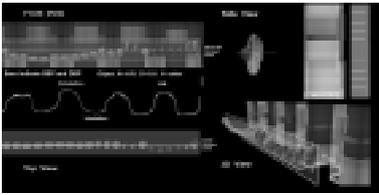


Ilustración 2: Nuevo sistema de visualización de datos fisiológicos en tiempo real.

El modelado de datos sigue configuraciones específicas en las coordenadas de X-Y-Z, en tiempo real. Una arquitectura tridimensional de datos primero organiza las 13 variables en conjuntos de datos o "funciones críticas" que luego son mapeadas en objetos tridimensionales. Estos objetos se desempeñan como metáforas de funciones cardíacas y respiratorias. Las esferas rojas del primer plano representan actividad cardíaca. El plano de fondo comunica actividades respiratorias. La localización y movimiento de los objetos en el espacio así como sus cualidades (Ej., Forma, textura, opacidad, color, etc.) mapean otras variables. Líneas y puntos especialmente diseñados establecen tramas de referencia para detectar anomalías. El tiempo se despliega de derecha a izquierda (en X), con las condiciones actuales en el "frente" o borde derecho de cada vista. Los estados del pasado son mantenidos para permitir una "perspectiva histórica" de la información.

Más específicamente, el objeto "cardíaco" crece y se contrae con cada latido del corazón en coordinación con la actualización de los datos. Su altura es proporcional al volumen de bombeo del corazón y su ancho es proporcional

al ritmo cardíaco. Su volumen total es proporcional al volumen cardíaco total del corazón. La posición de este objeto esférico en el espacio en Y y Z es proporcional a (1) la presión arterial promedio (más alta cuando el objeto sube y menor cuando baja) y (2) a la saturación del oxígeno en la sangre (más alta cuando el objeto va hacia adelante y más baja cuando va hacia atrás) del paciente respectivamente. El color del objeto indica el nivel total de oxigenación del paciente. El icono gráfico ofrece una similitud a un corazón en funcionamiento, facilitando así un reconocimiento rápido e intuitivo.



Fig 3: Vista frontal del sistema de visualización

Los datos de las funciones críticas respiratorias son mapeados en un plano azulado o "cortina" en el fondo. La ondulación hacia adelante y hacia atrás de este objeto en Z plotea información asociada con la Inhalación, la Exhalación y el ritmo respiratorio (vista superior en la Ilustración 2) Los datos relativos a los tipos y los volúmenes de gases son mapeados en Y. La variación de colores grises y verdes expresan los gases y sus concentraciones (dióxido de carbono y oxígeno). Las medidas cuantitativas de las concentraciones de gases y la presión en la vía respiratoria son mejor observadas en la vista lateral (Ilustración 4). La altura de la "cortina" es proporcional al volumen respiratorio.

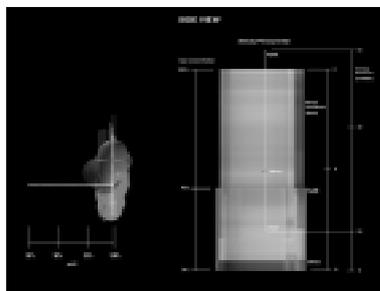


Fig 4: Vista lateral del sistema de visualización

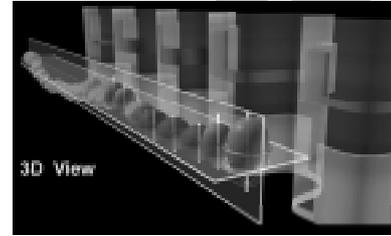


Fig 5: Ventana interactiva que muestra una expresión tridimensional de los datos. Observe la trama de referencia.

Evaluación del modelo de visualización

Nuestra hipótesis de investigación es que una arquitectura tridimensional de representación de datos comunica el estado de salud de un paciente de un vistazo, reduciendo así el trabajo cognoscitivo del profesional y acelerando la detección de problemas. Probamos esta hipótesis comparando el sistema tradicional y nuestro prototipo de visualización (Ilustraciones 1 y 2). Utilizamos el simulador del cuerpo METI para generar las situaciones fisiológicas necesarias para el testeo (Ilustración 6). El METI consiste en un manequín colocado en una mesa de quirófano que simula funciones y respuestas fisiológicas humanas a la anestesia. El METI genera todos los datos fisiológicos necesarios para hacer funcionar en tiempo real a cualquier sistema de visualización.



Fig 6: El simulador del cuerpo METI

El METI fue preprogramado con 3 acontecimientos críticos. Se hicieron luego tests de "situation awareness" con dos grupos, uno usando el sistema tradicional y el otro con el nuevo (CROMDI). Los resultados obtenidos muestran un mejoramiento en los tiempos de reconocimiento, detección y diagnóstico que son estadísticamente significativos. Ver Tabla 1.

CRITICAL EVENTS	HYPOVOLEMIA		ISCHEMIA		BRONCHOSPASM	
	TRADITIONAL	CROMDI	TRADITIONAL	CROMDI	TRADITIONAL	CROMDI
Detection (# of correct answers)	1.8	2.4	1.8	2.2	2.8	2.8
Diagnosis (# of correct answers)	1.4	2.2	2.8	2.2	2.8	3.4
Recognition Time (seconds)	96	48	138	126	180	120

Tabla 1: El testeo de comparación entre el sistema tradicional de visualización y el nuevo (CROMDI) fue hecho usando a 12 estudiantes graduados de bioingeniería. Preguntas de "situation awareness" fueron hechas cada 2,5 minutos y el tiempo de reconocimiento fue medido cuando los cambios críticos eran observados. (Zhang y otros)

Conclusión

La colaboración interdisciplinaria entre arquitectura, bioingeniería, informática, medicina y psicología ha producido metodologías y modelos novedosos para acceder, organizar, representar, e interactuar con bases de datos no-espaciales cambiantes en tiempo real. Los resultados preliminares de testeo, el desarrollo de una tecnología de visualización con patente de invención pendiente, y la legitimización de nuestras premisas y metodología por el otorgamiento de una beca de \$2.2 millones de los NIH de EEUU para apoyar cinco años de investigación en esta área reconocen la contribución concreta hecha por la arquitectura a la visualización de estados fisiológicos en la anestesiología

Tenemos la esperanza de que nuestro trabajo pueda producir mejoramientos significativos en la comprensión y respuesta a condiciones médicas críticas. De esta manera, el diseño y construcción de arquitecturas de representación de datos probaría ser de gran utilidad al tratamiento de la salud pública y, al mis-

mo tiempo, estaría directamente relacionada con el quehacer arquitectónico tradicional. Después de todo, tal arquitectura de representación responde a necesidades funcionales, tecnológicas y estéticas que no son substancialmente diferentes a las de la arquitectura material.

Para mayor información sobre este proyecto, visite:

- <http://infoviz.chpc.utah.edu/anes1.htm>
- <http://www.cromdi.utah.edu/index.html>

Reconocimiento

Esta trabajo de investigación fue hecho posible mediante dos becas de la Universidad de Utah (Technology Innovation Grants 1998, 1999), una beca de los National Institutes of Health de EEUU (I-R01 HL64590-01), y por CROMDI (Center for the Representation of Multi-Dimensional Information) financiado por el Estado de Utah.

Bibliografía

- Albers, J. Interaction of Color. Yale University Press, New Haven. 1975
- Arheim, R. The Dynamics of Architectural Form. University of California Press, Berkeley. 1977
- Broadbent, G., Bunt, R. and C.Jenks. Sign, Symbol and Architecture. John Willey & Sons, Chichester, UK. 1980
- Ciocier, R. Manufactured Pleasures, Psychological Responses to Design. Manchester University Press, Manchester, UK. 1993
- De Saumarez, M. Basic Design: the Dynamics of Visual Form. Van Nostrand Reinhold, New York. 1964
- Deneault, L.G., Stein, K.L., Lewis, C.M., Debbons, A., and A. Dewolf. Comparing geometric objects and conventional displays in patient monitoring. *J Clin Monit* 7:111-113. 1991
- Gurushanthaiah, K., Weinger, M.B. and C.E. Englund. Visual display format affects the ability of anesthesiologists to detect acute physiologic changes. *Anesthesiology* 83:1184-1193. 1995
- Lawson, B. How Designers Think. Architectural Press, London. 1980
- MacLeod, R.S. and C.R. Johnson. Map3d: Interactive scientific visualization for bioengineering data. *IEEE Computer Society*, pp.30-31. 1993
- Metaxas, D. NSF 1996 Grant: Interactive Virtual Environment for Modeling Anatomy and Physiology. Award number 9624604. 1996
- Michels P. and D Westenskow. A graphic date display reduces the detection time for critical events. *Int'l J. Clin Monit* 13(2):137. 1996
- Rowe, P. Design Thinking. The MIT Press, Cambridge, MA. 1987
- Schön, D. The Reflective Practitioner. Basic Books, New York. 1983
- Wong, W. Principles of 3-D Design. Van Nostrand Reynolds, New York. 1977.
- Zhang, Y., Westenskow, D., Agutter, J., Lilly, B., Bermudez, J. and S. Foresti. Design And Evaluation of a 3D Integrated Display. *J Clin Mon* (forthcoming)