

# Algoritmos de deformación de mallas poligonales para sistemas de procesamiento digital de geometría

Plan de Tesis

Director: Gabriel Taubin

Co-director: Fernando Cukierman

Consejero de estudios: Agustín Gravano

Estudiante: Manuel Dubinsky

4 de julio de 2017

## 1. Tema de investigación

En los últimos años se ha producido una revolución técnica que generó un crecimiento sin precedentes en la capacidad de procesamiento de datos de los dispositivos de uso personal (ej.: notebooks y teléfonos celulares). En sintonía con esos cambios, el paradigma global en torno a la creación de software libre ha puesto a disposición herramientas sofisticadas de excelente calidad. En particular han surgido muchas herramientas de diseño para la industria, la arquitectura y el urbanismo, la exploración geográfica y el entretenimiento (ej.: cine de animación y juegos). Por otro lado, actualmente es posible producir modelos digitales tridimensionales muy precisos tomados de la realidad en base a diversas técnicas: resonancia magnética, tomografía computarizada, láser, ultrasonido, radarización, microscopía, etc. A las cuales se suman técnicas más económicas basadas en procesamiento de imágenes. Por último, hoy en día es posible producir objetos tridimensionales de buena calidad y bajo costo en base a técnicas de impresión 3D. La conjunción de estos tres hechos en relación al modelado tridimensional: (1) sistemas de captura de datos, (2) software de procesamiento e (3) impresión 3D, están determinando cambios drásticos en la producción de bienes y servicios.

El área de Procesamiento Digital de Geometría es la rama de la Ciencia de la Computación encargada de elaborar los modelos y algoritmos para analizar y manipular la información geométrica de los objetos tridimensionales. Más precisamente, provee herramientas para: reconstruir superficies a partir de conjuntos de puntos, filtrar el ruido en las muestras de puntos y manipular las formas (ej.: simplificarlas, deformarlas, suavizarlas y parametrizarlas) [1]. Se encarga además

de formular las estructuras de datos para modelar la información geométrica. En este sentido, las mallas poligonales son las representaciones discretas de los objetos. Básicamente son grafos [4] que modelan, superficies inmersas en el espacio tridimensional. Sus vértices son una muestra de los puntos de la superficie. A cada vértice de la malla se le asocia su posición en el espacio (ej.: coordenadas cartesianas). Los ciclos simples del grafo se denominan “caras”. Las caras son polígonos convexos simples (en general triángulos o cuadrados) que modelan una pequeña parte de la superficie aproximando linealmente sus puntos interiores.

El contexto de nuestro trabajo es el problema de *deformación de mallas poligonales*. Específicamente, una deformación  $d : S \rightarrow S'$  es un mapa de una superficie  $S$  en otra  $S'$  que asocia a cada punto  $p \in S$  un vector de desplazamiento  $d(p)$ , de este modo la superficie  $S$  es deformada en la superficie  $S'$ :

$$S' := \{p + d(p) \mid p \in S\}$$

Para una representación de la superficie en términos de una malla poligonal, una deformación está completamente determinada por los vectores de desplazamiento  $d_i = d(p_i)$  de los vértices de la malla  $p_i \in S$ . De modo que los desplazamientos de los puntos interiores de las caras se aproximan linealmente. En la práctica, este problema debe ser considerado en el contexto de enriquecer la funcionalidad de las herramientas de diseño tridimensional. Es decir, por un lado hay que proveerle a los usuarios una interface simple para definir deformaciones de las superficies y por el otro, los algoritmos deben ser eficientes para brindar una respuesta interactiva. Típicamente la interface con los usuarios consiste en permitirles definir dos regiones sobre la superficie: (1) una región  $H$  denominada *manija* y una transformación afín (desplazamiento y/o rotación) de  $H$  y (2) una región fija  $F$  que permanecerá invariante. El algoritmo de deformación se encargará de producir una transformación suave del conjunto de puntos intermedios entre  $F$  y  $H$  (figura 1). Denotaremos a dicho conjunto de puntos intermedios como el conjunto  $R$ .

Nuestro trabajo consiste en diseñar e implementar nuevos algoritmos de deformación de superficies que resulten prácticos para las herramientas de diseño e impresión 3D.

## 2. Antecedentes existentes sobre el tema

En la última década se produjeron varios trabajos en relación al problema de deformación de mallas poligonales. Esencialmente hay dos grandes enfoques para abordarlo: (1) deformaciones intrínsecas de la superficie y (2) deformaciones del espacio. Por un lado, las deformaciones intrínsecas consideran que la función de desplazamientos  $d : S \rightarrow \mathbb{R}^3$  se define sobre la superficie  $S$  y se calcula a partir de su malla poligonal asociada. Los métodos derivados de este enfoque son muy flexibles porque las condiciones se definen sobre cada vértice de la malla. Esa definición local de las condiciones incrementa los grados de

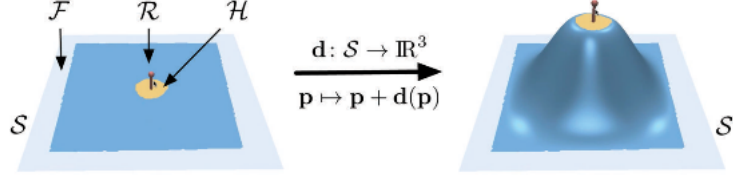


Figura 1: Una deformación  $d : S \rightarrow S'$ . Se define la manija  $H$  (región amarilla) y se desplaza verticalmente. La región fija  $F$  (gris) permanece invariante. La región  $R$  (azul) entre  $F$  y  $H$  se deforma suavemente.

libertad de las deformaciones. El inconveniente que presentan estas técnicas es que su eficiencia y robustez está asociada a la complejidad de la superficie y a la calidad de la muestra de puntos que conforman la malla poligonal. Por otro lado, el enfoque mediante deformaciones del espacio, considera que la función de desplazamientos  $d : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$  aplica sobre el espacio ambiente en el que está inmersa la superficie. De modo tal que la superficie se deforma implícitamente de acuerdo a la deformación global del espacio que la contiene.

A continuación presentamos los métodos más conocidos de cada uno de los enfoques. Recordemos de la sección anterior los tres conjuntos que intervienen en una deformación: (1) el conjunto  $H$  (manija), (2) el conjunto  $F$  (conjunto fijo o invariante) y (3) el conjunto  $R$  (conjunto de puntos intermedios, o sea el soporte de la deformación).

## 2.1. Métodos de deformaciones intrínsecas de la superficie

Dentro de este enfoque, las técnicas más simples consisten en propagar la transformación afín de la manija ( $H$ ) al conjunto  $R$ . Para que la transformación resulte suave entre  $H$  y  $F$ , la propagación es controlada mediante una función de distancia  $s : R \rightarrow [0, 1]$  de cada punto de  $R$  al conjunto fijo ( $F$ ). Dicha función permite controlar para cada punto la magnitud de la transformación, de modo tal que los puntos cercanos a  $H$  se transformen más que los puntos cercanos a  $F$ .

## 2.2. Métodos de deformaciones del espacio

## 2.3. Otros temas relacionados

# 3. Naturaleza del aporte original proyectado

Los resultados obtenidos a partir de este proyecto de investigación serán de gran valor para la comunidad que investiga y desarrolla en SDS y asistentes virtuales, así como también a la comunidad científica orientada a estudiar cómo los humanos interactuamos entre nosotros y con computadoras. Es así que, por un

lado, los aportes serán en primer lugar importantes para generar nuevas hipótesis en torno a cómo los humanos interactuamos cuando dialogamos (tanto entre humanos como con computadoras) y a validar experimentalmente hipótesis previamente disponibles en la literatura o generadas por nosotros. Nótese que, aun cuando estos aportes sean netamente académicos y científicos, es de esperar que, sobre la base de los resultados que obtengamos, se puedan también extraer recomendaciones en torno a cómo mejorar los sistemas de diálogo que actualmente se encuentran incorporados tanto en computadoras personales como en dispositivos móviles. Debe mencionarse que existen concretos de este recorrido de la academia a la industria en el desarrollo de SDS, por ejemplo, en el caso de toma de turnos en diálogo (*turn-taking*).

#### **4. Lugar de trabajo, infraestructura, factibilidad de desarrollo del trabajo y su financiamiento**

El lugar de trabajo en el que se desarrollará mi doctorado es el Departamento de Computación (DC) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. El DC cuenta con un cluster de cómputo, diversos laboratorios de computación (que pueden ser utilizados para realizar experimentos), servicio de red, mail, web y hosting de servidores para grupos de investigación. Esta infraestructura comprende todo lo necesario para el desarrollo de mi propuesta de trabajo.

Desde el año 2015, formo parte del grupo de investigación LIAA (Laboratorio de Inteligencia Artificial Aplicada). El LIAA es un espacio interdisciplinario donde se emplean técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático en diferentes problemáticas aplicadas. A este grupo pertenecen cuatro investigadores (incluyendo al director de mi doctorado), junto con estudiantes postdoctorado, doctorado y tesistas de licenciatura. Es de esperar que éstos no sólo guíen mi trabajo, sino que sean colaboradores en distintos proyectos en los cuales participe. Por otra parte, el grupo me provee de computadora de escritorio, grabadores para habla, y una sala experimental para poder trabajar. Finalmente, en el DC se dictan numerosas materias de posgrado útiles para mi doctorado.

En lo referido a mi financiamiento, cuento con una beca de estudios proveniente de un convenio firmado, a través de la Fundación Ciencias Exactas, entre la Universidad de Buenos Aires y la Constantine the Philosopher University en Nitra, Eslovaquia. Adicionalmente, soy profesor titular de dos materias de grado dictadas en la Lic. en Economía Empresarial de la Universidad Torcuato di Tella.

## 5. Plan de trabajo

- Generación de nuevos estudios de corpus y análisis de corpus ya disponibles en nuestro grupo.
- Colaboración en proyectos del grupo de investigación, sea a través de colaboración con otros investigadores o estudiantes de doctorado, o dirigiendo a tesis de licenciatura del grupo.
- Revisión del estado del arte en lo referido a la medición de atributos prosódicos y a la síntesis de los mismos.
- Refinamiento de hipótesis, diseño experimental y ejecución de experimentos para validar hipótesis pre-existentes.
- Publicación de resultados en conferencias y revistas de alto impacto.

### 5.1. Avances ya realizados

Hasta el momento hemos avanzado tanto en la línea de análisis de corpus como en la de diseño, ejecución y análisis de experimentos. En lo referido a estudio de corpus, llevamos adelante un estudio orientado a analizar cómo se relacionan medidas de mimetización con aspectos sociales en conversaciones entre humanos (dicho estudio fue presentado en Interspeech 2016, [12]). También hemos avanzado en tres experimentos de laboratorio. En el primero analizamos cómo impactan distintos esquemas de variaciones prosódicas en la selección de ayudantes virtuales (dicho estudio fue presentado en Interspeech 2016, [8]). En el segundo estudiamos cómo distintos atributos prosódicos impactan en el tiempo de respuesta asociado a responder si una declaración sintetizada es verdadera o no (dicho estudio fue enviado a Interspeech 2017 y actualmente se encuentra en etapa de evaluación). En el tercero, el cual se encuentra en etapa de diseño y implementación, evaluaremos cómo la mimetización a nivel de acto de diálogo (e.g., a nivel de preguntas o a nivel de respuestas) impacta en la confianza de los usuarios.

Con respecto a materias, hasta el momento logré la aprobación de las siguientes materias relacionadas con mi tema de doctorado.

Materia	Período	Calificación	Puntaje
Introducción a las Tecnologías del Habla	2do 2012	9	3
Reconocimiento de Patrones	1ro 2015	10	4
Introducción a la Neurociencia Computacional	2do 2015	10	5
Maestría en Data Mining	1ro 2015	-	5

## Referencias

- [1] M. Botsch, L. Kobbelt, M. Pauly, P. Alliez, and B. Lévy. *Polygon Mesh Processing*. A. K. Peters, 2010, Natick, MA, USA, 2010.

- [2] Holly P Branigan, Martin J Pickering, and Alexandra A Cleland. Syntactic co-ordination in dialogue. *Cognition*, 75(2):B13–B25, 2000.
- [3] Mauricio R Delgado, Robert H Frank, and Elisabeth A Phelps. Perceptions of moral character modulate the neural systems of reward during the trust game. *Nature neuroscience*, 8(11):1611–1618, 2005.
- [4] F. Harary. *Graph Theory*. Addison-Wesley, 1969.
- [5] Daniel Jurafsky and James H. Martin. *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 1st edition, 2000.
- [6] Margaret M Kjelgaard and Shari R Speer. Prosodic facilitation and interference in the resolution of temporary syntactic closure ambiguity. *Journal of Memory and Language*, 40(2):153–194, 1999.
- [7] Michael Kosfeld, Markus Heinrichs, Paul J Zak, Urs Fischbacher, and Ernst Fehr. Oxytocin increases trust in humans. *Nature*, 435(7042):673–676, 2005.
- [8] Rivka Levitan, Štefan Beňuš, Ramiro H Gálvez, Agustín Gravano, Florencia Savoretti, Marian Trnka, Andreas Weise, and Julia Hirschberg. Implementing acoustic-prosodic entrainment in a conversational avatar. *Interspeech 2016*, pages 1166–1170, 2016.
- [9] Rivka Levitan, Agustín Gravano, and Julia Hirschberg. Entrainment in speech preceding backchannels. In *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies: Short Papers-Volume 2*, pages 113–117. Association for Computational Linguistics, 2011.
- [10] Rivka Levitan and Julia Hirschberg. Measuring acoustic-prosodic entrainment with respect to multiple levels and dimensions. *Interspeech 2011*, pages 3081–3084, 2011.
- [11] Colin M MacLeod. Half a century of research on the stroop effect: an integrative review. *Psychological bulletin*, 109(2):163, 1991.
- [12] Juan M Pérez, Ramiro H Gálvez, and Agustín Gravano. Disentrainment may be a positive thing: A novel measure of unsigned acoustic-prosodic synchrony, and its relation to speaker engagement. *Interspeech 2016*, pages 1270–1274, 2016.
- [13] Patricia Rockwell, David B Buller, and Judee K Burgoon. The voice of deceit: Refining and expanding vocal cues to deception. *Communication Research Reports*, 14(4):451–459, 1997.
- [14] Andrew Rosenberg and Julia Hirschberg. Acoustic/prosodic and lexical correlates of charismatic speech. In *INTERSPEECH*, pages 513–516, 2005.

- [15] Bruce L Smith, Bruce L Brown, William J Strong, and Alvin C Rencher. Effects of speech rate on personality perception. *Language and Speech*, 18(2):145–152, 1975.