

Aplicación de la lógica difusa a la identificación forense

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

Carlos Morales Aguilera

Carlos Santiago Sánchez Muñoz

4 de Enero de 2020

Inteligencia Computacional



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

E.T.S. de Ingenierías Informática y de Telecomunicación



Introducción

Estado del arte

Introducción

Uso de técnicas

Métodos y herramientas

Modelo

Superposición cráneo-cara

Decisión

Resultados

Etapas de superposición

Etapas de toma de decisiones

Etapas de toma de decisiones

Experimentos realizados

Conclusiones

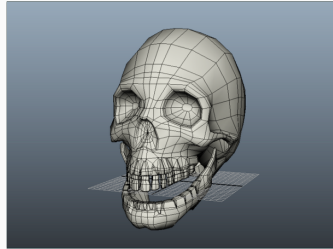
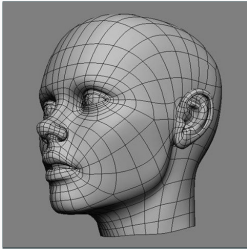
Introducción

Objetivos:

- Analizar el problema y posibles mejoras.
- Entender por qué aplicar lógica difusa.
- Comprender la mejora que se obtiene.
- Comentar nuevas vías de desarrollo.

Escenario

- Técnicas principales no son suficiente.
- No se poseen medidas exactas.



Estado del arte

- Proyecto MEPROCS: tenía como objetivo proponer una Marco de la UE para permitir la amplia aplicación de la técnica CFS en escenarios prácticos de identificación forense.
- Cuestionario enviado a 600 científicos durante 3 meses. Se reciben 97 respuestas de las cuales 45 afirman haber usado CFS.
- Encuesta estuvo compuesta por 16 preguntas relacionadas con el número de casos emprendidos en los últimos 30 años:
 - Escenarios de identificación.
 - número de horas empleadas en la realización de CFS.
 - resultados de identificación.
 - Materiales, herramientas y técnicas utilizadas.
 - Principales problemas enfrentados en la aplicación del CFS.

- De la encuesta MEPROCS, se reportaron 3854 casos de CFS: 2744 (71,2 %) fueron presentados en un tribunal de justicia y 1246 (32,3 %) de ellos resultaron en una identificación positiva.
- La mayoría de los casos (2489) no fueron clasificados en ninguna de las categorías sugeridas en la encuesta.
- Más del 50 % de los investigadores han implementado CFS en solo un pequeño número de casos (1 a 10 casos durante 10 años) mientras que los restantes informaron un mayor número de casos.

⇒ Se van a analizar en profundidad las respuestas de los participantes.

Distribución geográfica: India es el país en el que se han notificado la mayoría de los casos (1471), seguido de Perú (980). En España solo 31.

Uso de técnicas: Escenarios de identificación

En función del número de candidatos y coincidencias:

PIOI: Presunta identidad de un solo candidato.

PICL: Identidad de un individuo dentro de una lista cerrada de candidatos.

UICL: Identidad desconocida de un individuo dentro de una lista cerrada.

UIOL: Identidad desconocida de un individuo dentro de una lista abierta.

CNC: Casos no clasificados por los respondedores.

| Escen. | Id. positiva | Exclusión | Indeter. | No clasif. | Total |
|--------|---------------|------------|------------|---------------|---------------|
| PIOI | 451 (11.7 %) | 33 (0.9 %) | 61 (1.6 %) | – | 545 (14.1 %) |
| PICL | 309 (8.0 %) | 4 (0.1 %) | 19 (0.5 %) | – | 332 (8.6 %) |
| UICL | 336 (8.7) | – | 2 (0.1 %) | – | 338 (8.8 %) |
| UIOL | 150 (3.9 %) | – | – | – | 150 (3.9 %) |
| CNC | – | – | – | 2489 (64.6 %) | 2489 (64.6 %) |
| Total | 1246 (32.3 %) | 37 (1.0 %) | 82 (2.1 %) | 2489(64.6 %) | 3854(100 %) |

Cuadro 1: Uso de CFS reportado por 45 investigadores

Uso de técnicas: Escenarios de identificación

En función de la naturaleza de la investigación:

Desastres masivos: eventos naturales o provocados por el hombre, que causan la muerte o lesiones a un gran número de personas.

Terrorismo: actividad humana diseñada para causar daño, utilizando violencia premeditada con fines políticos o religiosos.

Personas desaparecidas: según el RCIC son aquellas personas de las que sus familiares no tienen noticias y/o que han sido reportadas como desaparecidas.

Fosas comunes: lugares donde se entierra un número indeterminado de personas como consecuencia de la guerra o desastres masivos.

| Nature of the investigation | Cases |
|-----------------------------|----------------|
| Terrorist attack | 15 (0.4 %) |
| Missing persons | 458 (11.9 %) |
| Mass casualty | 130 (3.4 %) |
| Mass grave | 87 (2.2 %) |
| Other | 3164 (82.1 %) |
| Total | 3854 (100.0 %) |

Cuadro 2: Clasificación según la naturaleza de la investigación

Se pidió a los investigadores que informaran sobre el método y el tipo de técnica de CFS utilizada, así como la fuente del material para la superposición.

Técnicas:

| | Superposición fotográfica | Superposición de vídeo | Superposición asistida por computadora | Respuestas totales |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|--|-----------------------|
| Manual | 20 | 3 | 8 | 31 |
| Semiautomatic | 10 | 3 | 5 | 18 |
| Automatic | 11 | 1 | 2 | 14 |
| Total | 41 | 7 | 15 | 63 |

Cuadro 3: Distribución de técnicas reportadas

Herramientas necesarias durante la implementación de la técnica:

| Respuesta | Porcentaje | Cantidad |
|--------------------|--------------------|----------|
| Rayos X | 12 | 4 |
| CTs | 12 | 4 |
| Escáner 3D | 12 | 4 |
| Sistema de vídeo | 15 | 6 |
| Banco de calaveras | 15 | 5 |
| Photoshop | 61 | 21 |
| Otros | 39 | 13 |
| | Total de repuestas | 34 |

Cuadro 4: Herramientas implementadas en técnica

Landmark: punto craneofacial en donde se va a realizar la medición.

| Response | Frequency | Count |
|---|-----------|-------|
| Glabella | 38 % | 11 |
| Nasion | 38 % | 11 |
| Rhinion | 17 % | 5 |
| Nasospinale-Subnasale | 28 % | 8 |
| Alare-Alare | 31 % | 9 |
| Subspinale-Superior labial sulcus | 24 % | 7 |
| Prosthion-Upper lip border (Labiale superius) | 34 % | 10 |
| Infradentale superius-Lower lip border | 17 % | 5 |
| Supramentale-Labiamentale | 14 % | 4 |
| Gonion | 38 % | 11 |
| Zygion | 31 % | 9 |
| Orbitale-Infraorbital | 17 % | 5 |
| Porion | 17 % | 5 |
| Dacryon-Endocanthion | 34 % | 10 |
| Gnathion-Menton | 21 % | 6 |
| Gnathion | 38 % | 11 |
| Pogonion-Mental | 14 % | 4 |
| Pogonion | 14 % | 4 |
| Prosthion | 24 % | 7 |
| Ectoconchion | 38 % | 11 |
| Frontozygomatic suture-Ectocanthion | 21 % | 6 |
| Other | 62 % | 18 |

Literatura

- Las estadísticas obtenidas en la encuesta fueron similares a los datos encontrados en la literatura. Clasificación de acuerdo a la naturaleza de la investigación, escenarios de identificación y resultados.
- 26 artículos habían abordado la naturaleza de la investigación y, posteriormente, habían sido sometidos a escrutinio judicial.
- Una gran cantidad de los casos incluyeron identificación por superposición, corroborada por otras técnicas de identificación (ADN).
- Cuando no se pudo obtener corroboración, se utilizó como método de identificación la superposición, junto con el perfil antropológico.
- Identificación de personajes históricos como Mozart.

Conclusión

- CFS se considera una técnica de identificación confiable y eficiente, aunque se implementa junto con otro método en muchos casos.

Modelo

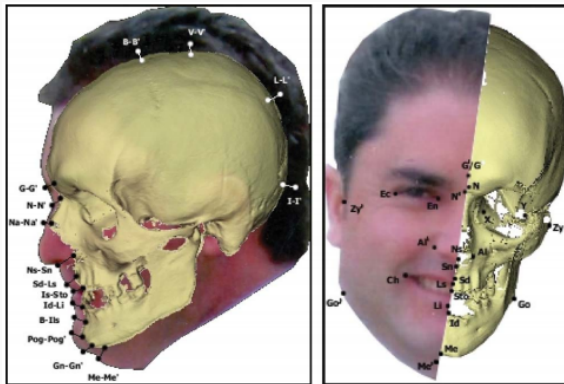
Modelos previos

- Primeros modelos superposición cráneo sobre fotografía.
- Minimización distancia puntos de referencia craneofaciales.
- Modelo anatómicamente incorrecto.
- Se necesita un modelo que considere la piel.

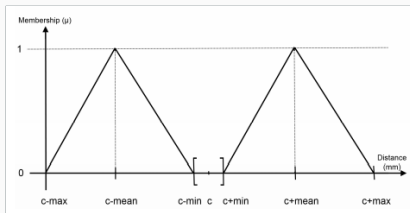
Superposición cráneo-cara

Primera propuesta

- Se ubica una esfera en el punto de referencia craneal.
- Se calculan *max*, *min* y *mean* en 3D.



Representación una dimensión en lógica difusa



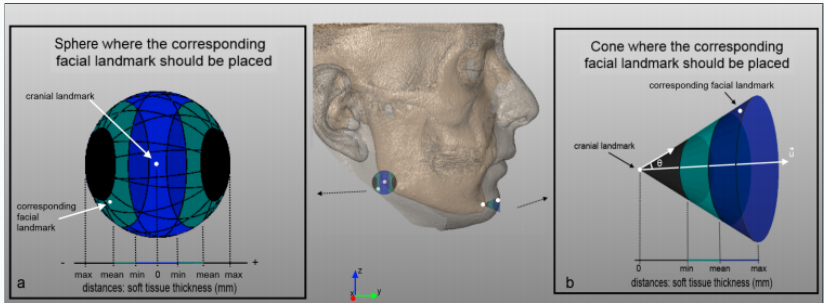
Fórmula

$$\tilde{B}_p = \begin{cases} 1 - \frac{|p - c + mean|}{max - mean}, & \text{if } c - max \leq p < c - mean \\ 1 - \frac{|p - c + mean|}{mean - min}, & \text{if } c - mean \leq p \leq c - min \\ 1 - \frac{|p - c - mean|}{mean - min}, & \text{if } c + min \leq p \leq c + mean \\ 1 - \frac{|p - c - mean|}{max - mean}, & \text{if } c + mean < p \leq c + max \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Superposición cráneo-cara

Enfoque no válido

- Anatómicamente incorrecto.
- Inconsistencia entre puntos.



Se define el **vector normal** como $\vec{v} = (x_n, y_n, z_n)$.

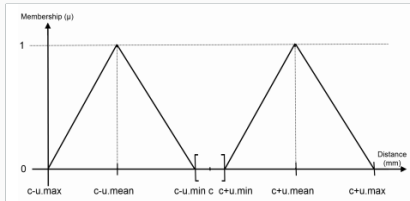
Por otro lado se define la **magnitud** de \vec{v} como

$$||\vec{v}|| = \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}.$$

El **vector unitario** de \vec{v} se define entonces de la manera:

$$\vec{u} = \left(\frac{x_n}{||\vec{v}||}, \frac{y_n}{||\vec{v}||}, \frac{z_n}{||\vec{v}||} \right) = (u_x, u_y, u_z)$$

Representación una dimensión en lógica difusa



Fórmula

$$\tilde{B}_p = \begin{cases} 1 - \frac{|p - c + u \cdot mean|}{u(max - mean)}, & \text{if } c - u \cdot max \leq p \leq c - u \cdot mean \\ 1 - \frac{|p - c + u \cdot mean|}{u(mean - min)}, & \text{if } c - u \cdot mean \leq p \leq c - u \cdot min \\ 1 - \frac{|p - c - u \cdot mean|}{u(mean - min)}, & \text{if } c + u \cdot min \leq p \leq c + u \cdot mean \\ 1 - \frac{|p - c - u \cdot mean|}{u(max - mean)}, & \text{if } c + u \cdot mean < p \leq c + u \cdot max \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Métrica de distancia

- Distancia entre conjuntos difusos:

$$d'(x, B) = \frac{\sum_y d(x, y) \cdot B(y)}{\sum_y B(y)}$$

- Distancia entre punto y conj. difuso:

$$d''(A, B) = \frac{\sum_x \sum_y d(x, y) t[A(x), B(y)]}{\sum_x \sum_y t[A(x), B(y)]}$$

- Función fitness *Fuzzy Mean Error*:

$$FME = \frac{\sum_{i=1}^{N_{crisp}} (d'(x_i, f(C^i))) + \sum_{j=1}^{N_{fuzzy}} (d''(F^j, f(C^j)))}{N}$$

Métrica de distancia sin puntos exactos

$$D_{FMD} = \frac{\bigcup_{\alpha \in (0,1]} \sum_{i=1}^N D(F^i, f(C^i))_{\alpha}}{N}$$

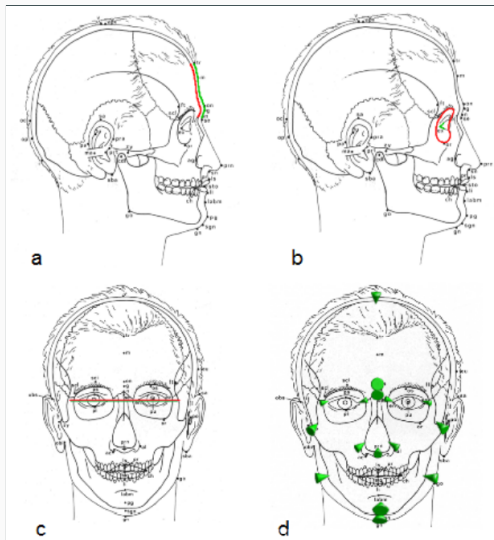
Por lo tanto, el número obtenido se aplica a la función de fitness de la forma:

$$FME = \frac{\sum_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} \alpha \cdot D_{FMD}(\alpha)}{\sum_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} D_{FMD}(\alpha)}$$

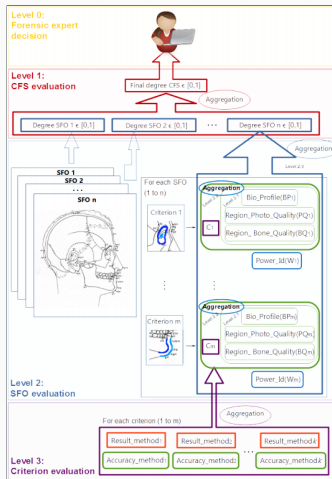
Criterios de satisfacción

- Análisis consistencia anatómica de las curvas morfológicas del cráneo y cara.
- Evaluación consistencia anatómica por correspondencia posicional.
- Localización linear y comparación para análisis de la consistencia anatómica.
- Evaluación de la consistencia del espesor del tejido suavizado entre los puntos de referencia craneofaciales.

Criterios de satisfacción

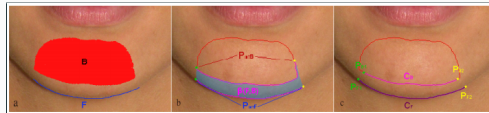


Sistema de soporte de decisiones



Nivel 3: Evaluación de criterios

- Modelado de la consistencia anatómica de los contornos craneofaciales.
- Medición de la posición relativa de dos regiones para estudiar consistencia anatómica.
- Modelado de la consistencia anatómica por localización linear y comparación.



- Modelado de la consistencia anatómica de una posición de dos regiones óseas.

Nivel 2: Evaluación SFO

Nivel 2.1: Función de agregación para combinar evaluaciones de calidad de material y perfil biológico.

$$O_{Level2,1}(PQ_m, BQ_m, BP_m) = \{min, prod, mean\}$$

Nivel 2: Evaluación SFO

Nivel 2.2: Función de agregación para combinar el grado de correspondencia y el valor de incertidumbre del nivel 2.1

$$O_{Level2,2}(C_m, Output_{Level2,1}) = \{wam, wgm\}$$

Nivel 2: Evaluación SFO

Nivel 2.3: Función de agregación para combinar el poder de identificación el grado del nivel 2.2

$$g_{\lambda}(A \cup B) = g_{\lambda}(A) + g_{\lambda}(B) + \lambda g_{\lambda}(A)\mu(B)$$

- *Integral discreta de Choquet:*

$$C_g(x) = \sum_{i=1}^n [x_{(i)} - x_{(i-1)}] g(H_{(i)})$$

- *Integral de Sugeno:* $S_g(x) = \max_{i=1, \dots, n} \min(x_{(i)}, g(H_{(i)}))$

Nivel 2: Evaluación SFO

Nivel 2.3: Función de agregación para combinar el poder de identificación el grado del nivel 2.2

$$O_{Level2,3}(Output_{Level2,2_i}, PowerID(W_i)) = \{wam, wgm, choq, sug\}$$

Nivel 3: Evaluación CFS

Agregación de los diferentes *SFOs* obtenidos en un único resultado:

$$Agg_Nreg = \frac{\sum_{n=1}^N (D_SFO_n \cdot Nreg_n)}{\sum_{n=1}^N Nreg_n}$$

Resultados

Etapas de superposición: modelado del estudio de distancias difusas e incertidumbre de coincidencia de puntos de referencia

- El procedimiento automático, basado en CV y SC, realiza la SFO de la forma más natural replicando el escenario original en el que se tomó la fotografía.
- El procedimiento técnico automatiza este enfoque propenso a errores.
- La orientación del cráneo y su ajuste de tamaño se puede realizar de forma automática simplificando el trabajo de los expertos.
- Reduce el tiempo para obtener una superposición válida.
- La evaluación ha usado 18 estudios de caso. Se logra un emparejamiento competitivo entre pares de puntos de referencia craneales y faciales.
- RCGA-c-45 supera significativamente a los demás métodos SFO.
- RCGA-c-30 también logra una buena clasificación.

Etapas de superposición: modelado del estudio de distancias difusas e incertidumbre de coincidencia de puntos de referencia

- Por lo tanto, las nuevas propuestas obtienen mejores resultados que los enfoques que no consideran el grosor de los tejidos blandos faciales.
- Aún se identifica un error residual al evaluar un resultado de SFO contra su superposición.
- La elección de una buena métrica de distancia es crucial.
- El enfoque SFO presenta el mejor rendimiento utilizando la distancia media ponderada en la mayoría de los casos.
- Resultados más precisos y robustos que las otras implementaciones.
- Esta distancia considera información espacial relacionada con la distancia, pero no la posición relativa direccional entre ellos. La relación entre los puntos de referencia craneales y faciales debe satisfacer un criterio de posición específico en función de la pose \Rightarrow Trabajo futuro.

Etapa de toma de decisiones: desarrollo jerárquico del sistema de apoyo a las decisiones

Correspondencia anatómica cráneo-cara en tres niveles: evaluación de criterios, evaluación de SFO y evaluación de CFS.

Etapa de evaluación del criterio

- 1) La coherencia entre los contornos craneales y faciales.
- 2) Consistencia anatómica por relación posicional.
- 3) Ubicación y comparación de la línea.
- 4) Consistencia del grosor del tejido blando entre los puntos de referencia.

Primera familia Mentón y contorno craneal.

Segunda familia Órbita craneal y posición central del globo ocular, borde superior y posición de la oreja...

Tercera familia Paralelismo de líneas de ectocantión, frontales y centrales.

La evaluación de correspondencia craneofacial comprende todo el rostro.

Etapas de toma de decisiones: desarrollo jerárquico del sistema de apoyo a las decisiones

Se han considerado de una a ocho regiones y de cero a 18 líneas interdentes. Utilizando técnicas de CV, se han estudiado diferentes métodos para medir la consistencia entre cada región ósea y facial.

Etapas de evaluación de la SFO

Estudio experimental para elegir función de agregación.

Primer subnivel: agrega las fuentes de incertidumbre del hueso y la imagen, y la variabilidad del perfil biológico. Se propone utilizar min, prod y media.

Segundo subnivel: integrar esta agregación con el grado de coincidencia del cráneo y la cara. Uso de las medias aritmética y geométrica: wam y wgm .

Tercer subnivel: grado de correspondencia craneofacial SFO agregando los diferentes valores para todas las regiones.

Etapa de toma de decisiones: desarrollo jerárquico del sistema de apoyo a las decisiones

DSS clasificó correctamente un número relativamente alto de casos positivos (13 de 16, es decir, 81,25 %) y negativos (186 de 224, es decir, 83,03 %).

Se puede concluir que el sistema actual es apto para:

- Casos de filtrado (clasificación-listado): en el 62,5 % de las ocasiones el caso positivo está en primera posición. Además el caso positivo se incluyó en el 60 % de los candidatos mejor clasificados con un 100 % de probabilidad y dentro del 27 % con un 92 % de probabilidad.
- Establecimiento de la exclusión: la capacidad para determinar una identidad negativa se realizó con un 97,4 % de precisión (de la tasa de TN sobre el conjunto de prueba).

El DSS diseñado puede considerarse la **primera herramienta automática para clasificar parejas de rostros y cráneos con una precisión similar a la de los expertos forenses** con mejor desempeño.

Exp. 1: Correspondencia de puntos de referencia con incertidumbre

Calcular la distancia entre un punto de referencia craneal y su facial.

30 ejecuciones independientes para comparar la robustez.

| Case, pose | pl | il | CCGA | RCGA | RCGA-s | RCGA-c-0 | RCGA-c-10 | RCGA-c-30 | RCGA-c-45 |
|--------------|----|----|--------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1,f | 7 | 7 | 4.565 | 2.750 | 2.727 | 4.116 | 4.330 | 3.078 | 3.164 |
| 1,l | 5 | 4 | 16.588 | 7.406 | 6.938 | 7.400 | 6.693 | 5.788 | 5.828 |
| 2,f | 8 | 5 | 4.906 | 3.690 | 3.486 | 3.823 | 4.212 | 3.337 | 3.331 |
| 2,l | 3 | 2 | 8.299 | 8.605 | 8.871 | 8.871 | 8.871 | 5.286 | 3.688 |
| 3,f | 8 | 7 | 3.815 | 3.629 | 3.664 | 6.594 | 6.594 | 3.007 | 2.941 |
| 3,l | 4 | 4 | 9.367 | 10.643 | 10.815 | 11.073 | 11.073 | 7.604 | 7.001 |
| 4,f | 7 | 6 | 4.635 | 3.647 | 3.505 | 3.356 | 3.356 | 3.223 | 3.045 |
| 4,l | 4 | 3 | 14.027 | 14.327 | 13.494 | 13.847 | 13.847 | 12.446 | 12.171 |
| 5,f | 10 | 6 | 2.996 | 2.436 | 2.453 | 2.204 | 2.406 | 2.641 | 2.600 |
| 5,l | 5 | 4 | 8.545 | 6.865 | 6.097 | 6.846 | 6.846 | 3.715 | 2.825 |
| 6,f | 8 | 7 | 4.654 | 3.784 | 3.644 | 2.618 | 3.076 | 2.878 | 2.921 |
| 6,l | 3 | 4 | 16.486 | 12.959 | 11.665 | 2.204 | 11.126 | 11.009 | 10.626 |
| 7,f | 10 | 5 | 4.253 | 3.639 | 3.617 | 4.695 | 4.695 | 4.100 | 3.714 |
| 7,l | 5 | 4 | 10.212 | 12.663 | 10.909 | 9.649 | 9.649 | 9.729 | 10.345 |
| 8,f | 9 | 6 | 5.269 | 4.409 | 3.579 | 3.492 | 3.492 | 2.856 | 2.882 |
| 8,l | 4 | 4 | 6.840 | 8.555 | 7.812 | 19.935 | 19.935 | 6.262 | 5.412 |
| 9,f | 10 | 4 | 6.174 | 5.541 | 5.757 | 6.660 | 6.660 | 5.071 | 4.887 |
| 9,l | 3 | 5 | 10.210 | 11.701 | 11.700 | 19.852 | 19.852 | 10.391 | 9.509 |
| Average (mm) | | | 7.778 | 6.976 | 6.548 | 7.759 | 8.416 | 5.585 | 5.281 |

Imagen 1: Resultados frente al estado del arte (30 ejecuciones y 9 casos)

Modelos que utilizan el modelo del cono (c – *angulo*) son los que obtienen los mejores resultados y los del modelo esférico (s) también son prometedores.

Exp. 2: Distancias difusas

La elección de **Weighted Mean distance** era arbitraria.

Mismos parámetros y ejemplos pero con modelo *RCGA-c-45*.

Error (en mm) y desviación para cada caso de estudio.

| Case, post | pl | il | Weighted Mean | Nearest Point | Nearest Point E1 | Nearest Point E2 | Mean α -cuts (Nearest point) | Mean α -cuts (Sym. mean) | Mean α -cuts (Hausdorff) | Rosenfeld |
|------------|----|----|------------------|---------------|------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|
| 1,f | 7 | 7 | 3.17±0.31 | 3.28±0.65 | 2.97±0.81 | 2.07±0.87 | 2.51±1.00 | 1.98±0.89 | 3.03±0.53 | 3.04±0.91 |
| 1,l | 5 | 4 | 5.83±2.59 | 6.68±2.84 | 8.13±3.25 | 7.63±3.24 | 7.73±3.17 | 7.78±3.14 | 7.42±3.85 | 9.39±1.47 |
| 2,f | 8 | 5 | 3.33±0.45 | 3.18±1.42 | 3.14±1.88 | 2.15±0.42 | 2.45±1.12 | 3.27±1.78 | 4.24±1.18 | 3.90±0.36 |
| 2,l | 3 | 2 | 3.69±0.23 | 9.25±2.14 | 8.24±1.90 | 8.19±2.76 | 7.64±2.22 | 6.52±2.71 | 6.48±2.62 | 8.57±2.78 |
| 3,f | 8 | 7 | 2.94±0.23 | 4.81±0.69 | 4.55±0.56 | 4.46±0.56 | 4.35±0.65 | 4.17±0.67 | 3.66±0.65 | 4.64±0.77 |
| 3,l | 4 | 4 | 7.00±0.09 | 7.20±0.56 | 7.35±0.81 | 6.94±0.39 | 7.05±0.51 | 6.98±0.37 | 7.54±0.59 | 9.59±1.50 |
| 4,f | 7 | 6 | 3.05±0.06 | 4.24±0.18 | 3.90±0.27 | 3.90±0.34 | 4.17±0.40 | 3.67±0.30 | 4.10±0.13 | 4.46±0.67 |
| 4,l | 4 | 3 | 12.17±2.83 | 11.64±2.71 | 11.95±2.90 | 11.93±2.94 | 10.83±2.51 | 11.38±2.66 | 12.01±2.08 | 12.65±2.92 |
| 5,f | 10 | 6 | 2.60±0.13 | 5.21±0.65 | 5.14±0.84 | 5.34±0.71 | 5.26±0.66 | 4.12±0.33 | 4.42±0.46 | 7.77±1.66 |
| 5,l | 5 | 4 | 2.83±0.15 | 5.15±2.33 | 5.05±2.07 | 5.69±2.14 | 6.14±2.15 | 4.49±1.71 | 6.85±2.60 | 8.57±2.28 |
| 6,f | 8 | 7 | 2.92±0.12 | 4.98±0.37 | 3.78±0.74 | 3.98±0.88 | 3.70±0.54 | 3.23±0.53 | 3.97±0.57 | 2.93±0.88 |
| 6,l | 3 | 4 | 10.63±3.02 | 12.64±3.69 | 11.19±4.10 | 11.88±3.24 | 9.89±2.74 | 10.41±3.35 | 12.05±2.46 | 11.34±2.38 |
| 7,f | 10 | 5 | 3.71±0.17 | 3.93±1.64 | 4.42±2.12 | 4.12±2.06 | 3.50±1.77 | 3.19±0.81 | 5.05±0.64 | 5.33±1.09 |
| 7,l | 5 | 4 | 10.35±1.97 | 10.96±1.21 | 10.48±1.15 | 10.36±0.88 | 9.91±0.93 | 10.20±0.89 | 10.95±0.90 | 10.85±1.33 |
| 8,f | 9 | 6 | 2.88±0.24 | 4.35±0.49 | 4.21±0.46 | 4.39±0.40 | 4.36±0.21 | 4.43±0.33 | 3.56±0.16 | 5.85±1.35 |
| 8,l | 4 | 4 | 5.41±0.15 | 8.64±1.96 | 8.19±1.76 | 9.15±1.55 | 8.10±1.77 | 6.87±1.70 | 7.40±1.85 | 10.60±1.93 |
| 9,f | 10 | 4 | 4.89±0.15 | 5.72±0.44 | 5.79±0.33 | 5.74±0.36 | 5.61±0.40 | 5.19±0.34 | 4.54±0.25 | 5.25±0.72 |
| 9,l | 3 | 5 | 9.51±0.69 | 11.68±2.84 | 11.02±2.19 | 11.22±1.98 | 11.41±2.06 | 10.22±1.15 | 10.53±1.23 | 13.26±2.31 |
| Average | | | 5.38 | 6.86 | 6.64 | 6.62 | 6.37 | 6.01 | 6.54 | 7.67 |

Imagen 3: Resultados de las diferentes distancias (30 ejec. y 9 casos)

Resultados similares y según el caso es mejor una distancia u otra.

Fila final \Rightarrow *Weighted Mean Distance* es la mejor distancia.

Conclusiones

Conclusiones

- Mejoran modelo RCGA.
- Enfoque más realista con la anatomía humana.
- Mayor cantidad de aciertos debido a los análisis de cada condición de satisfacción.

Posibles vías de desarrollo

- Personas con alguna deformidad craneal.
- Personas con problemas de peso.
- Personas con lesiones.

Gracias por su atención