

Detecção automática de Pontos Cefalométricos a partir da análise do contorno anatômico.

Mauricio Cunha Escarpinati¹, Michele Fúlvia Angelo², Lucas Lima Batista², Luiz Bernardo Souza e Souza², Maiane Barbosa dos Santos Souza², Fernando de Menezes Oliveira²

¹Faculdade de Computação – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia – MG – Brasil

²Departamento de Tecnologia – Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Feira de Santana, BA - Brasil

mauricio@facom.ufu.br, m.fulvia@terra.com.br

Abstract. *This paper describes the introductory phase of a study that aims to develop mathematical models and computational algorithms for, from the analysis of anatomical contours, perform the automatic detection of Cephalometric Landmarks. This search is justified by the attempt to eliminate subjectivity in the process of the cephalometric analysis. As preliminary results were modeled algorithms to perform detection of eleven different Cephalometric Landmarks, nine of them were between good and satisfactory results and only two of them have problems in the detection process.*

Resumo. *Este artigo descreve a etapa introdutória de um trabalho que visa o desenvolvimento de modelos matemáticos e algoritmos computacionais para, a partir da análise de contornos anatômicos, realizar a detecção automática de Pontos Cefalométricos. Tal busca se justifica pela tentativa de eliminar a subjetividade no processo de realização dos exames de traçados e análises cefalométricas. Como resultados preliminares foram modelados algoritmos para realizar a detecção de onze diferentes Pontos Cefalométricos, sendo que nove deles apresentaram resultados entre bons e satisfatórios e somente dois deles apresentam problemas no processo de detecção.*

1. Introdução

A Cefalometria Radiográfica é a parte da ciência odontológica que se dedica à mensuração de grandezas lineares e angulares, em radiografias da cabeça, a qual se constitui num dos elementos essenciais ao diagnóstico ortodôntico e à avaliação de padrões de crescimento facial [Pereira 1998]. Em 1931, Broadbent [Broadbent 1931] estabeleceu o uso da cefalometria como meio de diagnóstico moderno e desde então, este método tem sido utilizado como parte dos registros, para auxiliar o diagnóstico e o planejamento dos tratamentos ortodônticos. A abundância de informações radiográficas passou a ser organizada em análises cefalométricas. Esta tem sido realizada por meio de traçados sobre as radiografias de crânio laterais, porém, a determinação dos pontos cefalométricos tem se mostrado não reprodutível quando comparados por diversos observadores. Essa não reprodutibilidade, segundo Houston [Houston 1982], é

consequência da falta de precisão na determinação dos pontos cefalométricos, bem como dos erros de medida por instrumentos manuais (régua, compasso, lápis). Tais erros podem mudar significativamente o diagnóstico e o planejamento do tratamento ortodôntico.

Inserido neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver métodos computacionais capazes de detectar de forma automática os pontos cefalométricos necessários à realização do exame de traçado cefalométrico. Para tanto, serão realizadas análises computacionais na representação discreta dos contornos anatômicos das estruturas morfológicas envolvidas no processo.

Neste ensaio serão apresentados resultados preliminares da localização de onze pontos cefalométricos a partir de análises matemáticas dos contornos anatômicos, ajustados manualmente com o auxílio de uma ferramenta computacional desenvolvida pelo grupo e apresentada em trabalhos anteriores [Bastos et al 2009].

2. Materiais e Métodos

As regras estabelecidas pela literatura [Ravelli, 2007] para determinação da posição dos pontos cefalométricos a partir dos contornos anatômicos se baseiam, em sua maioria, em um conjunto de regras lógicas e matemáticas sobre a conformação geométrica dos contornos anatômicos. Desta forma, foram desenvolvidas formulações matemáticas para reproduzir tais regras e determinar, como descrito na seção 2.1, a posição de onze Pontos Cefalométricos.

A formulação matemática desenvolvida permitiu a implementação de algoritmos que a partir da análise de representações vetoriais dos contornos anatômicos pudessem determinar as coordenadas de cada um dos Pontos Cefalométricos modelados que, então, puderam ser comparados com a marcação manual realizada por especialistas.

2.1 – Modelagem matemática da posição dos Pontos Cefalométricos

A seguir serão apresentados os onze Pontos Cefalométricos analisados, bem como a definição cefalométrica de suas localizações de acordo com [Ravelli, 2007] e a formulação matemática desenvolvida. Para uma melhor compreensão faz-se necessário algumas definições, nas formulações matemáticas desenvolvidas para a determinação das coordenadas (x_p, y_p) de cada um dos Pontos Cefalométricos aqui tratados será assumido que:

- T é o conjunto de todas as n_s coordenadas cartesianas na forma $P_i(x_i, y_i)$, com $1 < i < n$, que compõem a representação vetorial da Estrutura Anatômica investigada em casa caso;
- Desta forma temos que para o estudo de cada ponto cefalométrico, assumiremos um T diferente formado pelo conjunto de coordenadas da representação vetorial da estrutura anatômica em análise.

Os pontos estudados até o momento foram: Ponto Sela (S), Ponto Orbitário (Or), Ponto Espinha Nasal Posterior (ENP), Ponto Espinha Nasal Anterior (ENA), Ponto Porio Mecânico (Po), Ponta do Nariz (PN), Ponto Fossa Pterigo Maxilar (Ptm), Ponto Mentoniano ou Mental (Me), Ponto (D), Ponto Násio (N) e o Ponto Pterigóide (Pt)

[Ravelli 2007]. As formulações matemáticas para localização das coordenadas de cada um dos pontos descrito podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulação matemática da localização dos Pontos Cefalométricos

PONTOS	Formulação Matemática
<i>S</i>	$P_S = (x_p, y_p) \rightarrow x_p = \frac{1 \sum_1^n x_i}{n}, y_p = \frac{1 \sum_1^n y_i}{n}$
<i>Or</i>	$P_{Or} = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T y_i = \max(y_1, y_2, \dots, y_n))$
<i>ENP</i>	$P_{ENP} = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T x_i = \min(x_1, x_2, \dots, x_n))$
<i>ENA</i>	$P_{ENA} = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T x_i = \max(x_1, x_2, \dots, x_n))$
<i>Po</i>	$P_{Po} = (x_p, y_p) \rightarrow x_p = \frac{1 \sum_1^n x_i}{n}, y_p = \min(y_1, y_2, \dots, y_n)$
<i>PN</i>	$P_{PN} = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T x_i = \max(x_1, x_2, \dots, x_n))$
<i>Ptm</i>	$P_{Ptm} = (x_p, y_p) \rightarrow x_p = \frac{1 \sum_1^n x_i}{n}, y_p = \frac{1 \sum_1^n y_i}{n}$
<i>Me</i>	$P_{Me} = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T y_i = \max(y_1, y_2, \dots, y_n))$
<i>D</i>	$P_D = (x_p, y_p) \rightarrow x_p = \frac{1 \sum_1^n x_i}{n}, y_p = \frac{1 \sum_1^n y_i}{n}$
<i>N</i>	$P_N = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T y_i = \min(y_1, y_2, \dots, y_n))$
<i>Pt</i>	$P_{Pt} = (x_p, y_p) \rightarrow (x_p, y_p) = (\forall(x_i, y_i) \in T y_i = \min(y_1, y_2, \dots, y_n))$

3. Resultados e Conclusões

Para a análise dos resultados obtidos com os algoritmos implementados, foram analisados 10 casos reais. Primeiramente as imagens digitalizadas foram submetidas à ferramenta de traçado digital dos contornos anatômicos desenvolvida pelo grupo e apresentada em trabalhos anteriores [Bastos et al 2009]. O ajuste da representação vetorial dos contornos anatômicos foi realizado por especialistas da área de Radiologia Odontológica, em seguida, os mesmos especialistas, com o auxílio da ferramenta, demarcaram manualmente a posição dos pontos cefalométricos. Por último os contornos anatômicos foram analisados pelos algoritmos desenvolvidos e os resultados obtidos pelo sistema (posição dos onze Pontos Cefalométricos descritos na Tabela 1) foram confrontados com os resultados das análises dos especialistas.

Como resultado da análise, foi mensurada a distância em *mm* entre a posição de cada Ponto Cefalométrico indicada pelos especialistas e a posição dos mesmos pontos calculada pelo algoritmo. Na Tabela 2 é apresentado o erro obtido entre a marcação manual e a automática de cada um dos onze pontos nos 10 casos analisados. Neste trabalho tomou-se como erro a não reprodutibilidade da marcação manual por parte da ferramenta. Segundo El-Feghi [EL-Feghi 2008], o erro médio considerado pelos ortodontistas na reprodutibilidade da marcação dos pontos cefalométricos, possui a seguinte classificação: bom, para erro menor ou igual a 2mm e aceitável o erro entre 2mm e 4mm.

Embora, nos dez casos analisados os resultados obtidos na marcação dos pontos Ptm e Me estejam fora do aceitável, a reprodutibilidade na marcação dos demais Pontos Cefalométricos por parte do algoritmo se encontra dentro das categorias “bom” e

“aceitável”, o que demonstra que o trabalho, ainda em desenvolvimento, apresenta resultados promissores. Investigações preliminares apontam que embora o algoritmo tenha errado na marcação da posição dos Pontos *Ptm* e *Me*, este erro segue um padrão uniforme para todos os casos, o que pode indicar uma solução trivial para o problema.

Tabela 2 – Resultados obtidos com a ferramenta de marcação automática dos Pontos Cefalométricos

Erro em mm da marcação automática dos Pontos Cefalométricos tendo como parâmetro a marcação manual realizadas por especialistas												
Pontos	Casos Analisados										Média	D. Padrão
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10		
S	1,3	1,4	2,6	1,4	1,1	1,4	0,6	0,4	1,0	3,2	1,43	0,84
Or	0,7	0,3	1,1	0,0	0,3	0,3	1,9	0,3	0,0	3,2	0,81	1,01
N	0,0	0,4	0,4	0,6	0,3	0,6	1,0	0,4	0,7	1,4	0,60	0,39
ENP	0,3	0,3	0,0	0,3	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	1,4	0,47	0,38
ENA	0,6	0,3	0,0	0,3	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,32	0,22
Po	0,9	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,9	1,4	0,58	0,37
PN	2,1	2,2	0,4	3,1	3,1	2,6	0,9	0,9	0,3	1,4	1,72	1,06
Ptm	4,2	7,6	5,6	6,9	8,0	9,4	3,8	5,7	7,5	24,2	8,27	5,86
Pt	3,1	4,4	0,4	4,2	4,1	5,3	2,0	3,3	1,4	11,0	3,92	2,91
Me	1,3	1,6	7,6	0,9	1,6	2,0	4,1	3,1	2,5	16,5	4,12	4,76
D	8,6	7,1	8,2	9,4	6,9	7,6	7,4	7,4	8,4	24,1	9,50	5,18

Diante do apresentado, acredita-se que a modelagem e os algoritmos propostos poderão contribuir de maneira significativa para o processo de realização dos exames de traçados e análise cefalométrica. Como futuras tarefas, serão modelados mais pontos cefalométricos e estudadas soluções para o posicionamento automático das representações vetoriais dos contornos anatômicos, auxiliando de uma forma ainda mais eficaz o dia-a-dia do especialista na realização de tal exame e na redução da subjetividade do processo.

Referencias

- Bastos, I.L.O, Batista, L.L., Marques, R.S., Labo, R., ÂNGELO, M. F., ESCARPINATI, M. C. Esquema CAD para realização de traçados e análises cefalométricas In: IX Workshop de Informática Médica, 2009, Bento Gonçalves – RS.
- Broadbent B H. A new x-ray technique and its application to orthodontics. Angle Orthodont, 1931; 1(2): 45-66.
- EL-Feghi I, Galhoo M, Sid-Ahmed M, Ahmadi M. Automated 2-D Cephalometric Analysis of X-ray by Image Registration Approach based on Least Square Approximator. 30th Annual International IEEE EMBS Conference 2008; 3949-3952.
- Houston WJB. A comparison of the reliability of measurement of cephalometric radiographs by tracings and direct digitization. Swed Dent J. 1982; 15: 99-103.
- Pereira CB, Mundstock CA, Berthold TB. Introdução à cefalometria radiográfica. 3 ed. São Paulo: Pancast; 1998.
- RAVELLI, D. B. et al. Ortodontia análises cefalométricas mais usuais ao seu alcance. 1. ed. São Paulo: Rima, 2007. ISBN 978-85-7656-105-7.