

Krystyn Łuszczuk, Mieczysław Goc, Andrzej Łuszczuk

KRZYWE BÉZIERA W ANALIZIE PISMOZNAWCZEJ

Bézier curves in handwriting analysis

Wprowadzenie

Niektóre aplikacje komputerowe do badań grafometrycznych dokonują pomiaru długości linii graficznej, co jest niezbędne m.in. do określenia zagęszczenia pisma¹ oraz gęstości jednostkowej i całkowitej w programie LINIOGRAF², gęstości poziomej i pionowej w programie SKELGRAF³, czy też gęstości histogramowej⁴. We wszystkich tych przypadkach występują jednak pewne utrudnienia i uciążliwości, które mogą obniżać funkcjonalność tych programów. W przypadku LINIOGRAFU wynikają one z konieczności ręcznego wyznaczania cech do analizy parametrycznej, polegającego na odrysowywaniu badanej linii graficznej przy użyciu myszy komputerowej lub rysika tabletu. Pewnym postępowaniem było „uwolnienie” użytkownika od czynności odrysowywania badanej linii poprzez zastosowanie przekształceń morfologicznych map bitowych badanych próbek tekstów. Wykorzystano to w programach SKELGRAF oraz ANALIZA HISTOGRAMOWA. Przekształcenia morfologiczne to detekcja szkieletu (szkieletyzacja) i detekcja konturu (konturowanie) pisma, poprzedzone edycją tła próbki w celu usunięcia elementów zbędnych oraz binaryzacją linii graficznej. Uwalnia to użytkownika od manualnego odrysowywania linii, ale zwiększa nakład pracy związany ze specjalnym przygotowaniem próbek. Ponadto wprowadza, niechętnie widziany w badaniach, czynnik subiektywizmu w postaci ustalania tzw. progu binaryzacji, o którego wielkości decyduje arbitralnie użytkownik. Kolejnym

¹ R. Soszalski, *Mierzalność liniowa jako jedno z kryteriów identyfikacji podpisów podrobionych*, „Problemy Kryminalistyki” 1979, nr 137, s. 72–81; A. Łuszczuk, M. Goc, K. Łuszczuk, *Współczynnik zagęszczenia Ryszarda Soszalskiego a grafometria*, w: R. Cieśla (red.), *Dokument i jego badania*, Prace Naukowe Wydziału Prawa, Administracji i Ekonomii Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2014, s. 243–247.

² Program LINIOGRAF opracowany w ramach Projektu nr DOBR-BIO4/038/13297/2013 pt. „Pomiarowe narzędzia wspomagające analizę pisma ręcznego i podpisów” realizowanego przez Konsorcjum Naukowe Uniwersytetu Warszawskiego, Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Policji oraz Instytutu Kryminalistyki Polskiego Towarzystwa Kryminalistycznego Sp. z o.o.

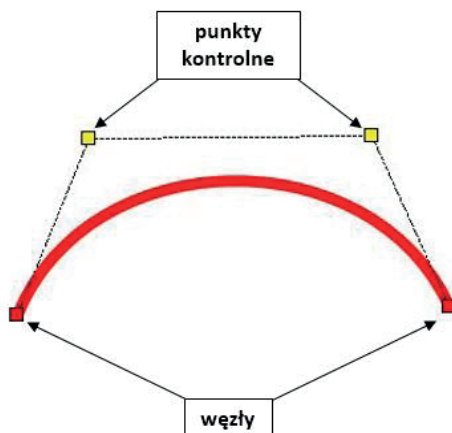
³ Program SKELGRAF (w opracowaniu).

⁴ Program ANALIZA HISTOGRAMOWA (w opracowaniu).

minusem jest konieczność przygotowywania kopii próbek, gdyż linia graficzna próbki poddana binaryzacji traci obraz cieniowania, ulegając pewnej deformacji. Mając na uwadze wyżej opisane problemy z badaniem szeroko rozumianej gęstości pisma, proponuje się zastosowanie do tychże badań krzywych Béziera. Uwolni to użytkownika nie tylko od żmudnego odrysowywania linii, ale także od uciążliwej i pracochłonnej edycji tła przygotowywanych do badań próbek. Możliwe też jest wykorzystanie tej techniki do analizy innych parametrów grafometrycznych pisma.

Krzywe Béziera

Krzywe Béziera to parametryczne krzywe powszechnie stosowane w programach do projektowania inżynierskiego CAD, projektowania grafiki komputerowej (Corel Draw, Photoshop, GIMP, Adobe Illustrator itp.), w typografii do reprezentowania kształtów czcionek komputerowych i w systemach przetwarzania grafiki oraz w grafice wektorowej. Teoria krzywych Béziera, chociaż stosunkowo młoda (koniec lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku), posiada bogatą literaturę⁵. W niniejszym artykule opisano możliwość zastosowania tychże krzywych do pomiaru długości linii graficznych pisma ręcznego. Podstawowy segment krzywej Béziera zawiera dwa punkty skrajne (zwane węzłami) oraz dwa punkty kontrolne⁶, jak pokazano na ryc. 1.



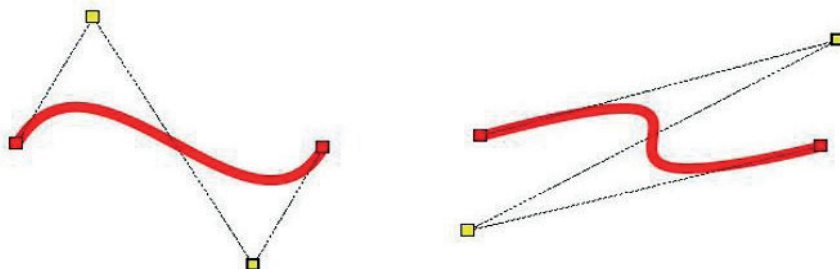
Ryc. 1. Podstawowy segment krzywej Béziera⁷

⁵ Zob. m.in. M., *Elementy grafiki komputerowej*, wyd. II, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006, s. 124 i nast.; S. Cates, S. Abrams, D. Moughamian, *Photoshop CS4/CS4 PL Biblia*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2009, s. 348; A. Nathan, *WPF 4.5 Księga eksperta*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2015, s. 480.

⁶ Liczba punktów kontrolnych jest zmienna w zależności od stopnia wielomianu opisującego krzywą. W naszych rozważaniach zajmujemy się krzywymi mającymi dwa punkty kontrolne, opisane wielomianami trzeciego stopnia.

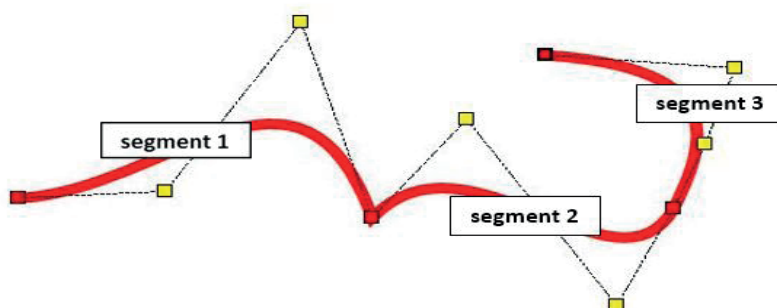
⁷ Opracowanie ryc. 1–8: Krystyn Łuszczuk.

Węzły i punkty kontrolne można dowolnie przesuwać, co powoduje zmianę kształtu segmentu krzywej.



Ryc. 2. Zmiana kształtu segmentu krzywej Béziera zależnie od położenia węzłów i punktów kontrolnych

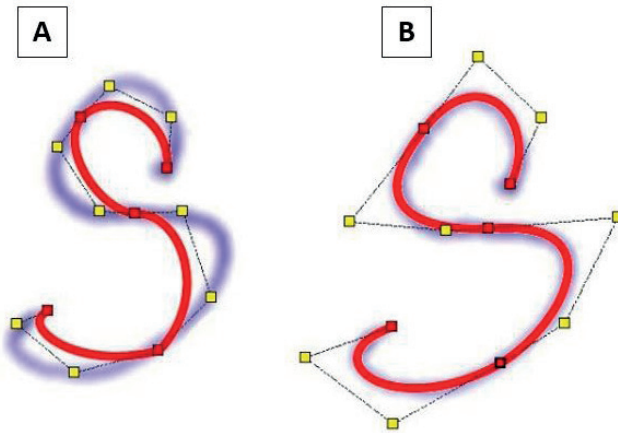
Segmenty krzywych Béziera można też łączyć, wówczas węzeł początkowy segmentu następnego leży dokładnie na węźle końcowym segmentu poprzedniego.



Ryc. 3. Połączenie trzech segmentów krzywej Béziera

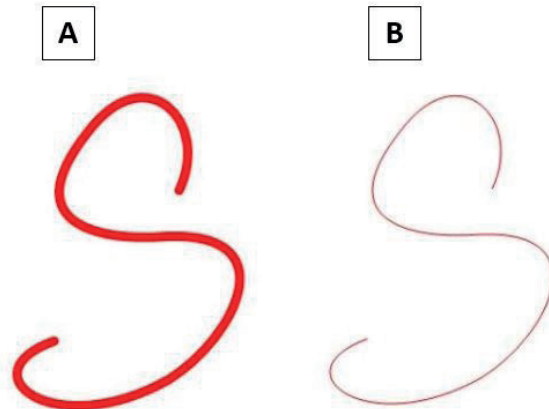
Zastosowanie krzywych Béziera do pomiaru długości linii graficznej i gęstości pisma

Obserwując kształt i usytuowanie segmentów na ryc. 3, łatwo sobie wyobrazić taką krzywą „naniesioną” na dowolną linię graficzną. Możliwość przesuwania węzłów i punktów kontrolnych pozwoli na „dopasowanie” krzywej Béziera do linii graficznej, nawet o skomplikowanym przebiegu. Poniżej prosty przykład „dopasowania” do litery „S”:



Ryc. 4. A – przed dopasowaniem, B – po dopasowaniu

Jak widać na ryc. 4 B, przesuając odpowiednio węzły i punkty kontrolne, udało się prawie idealnie wkomponować krzywą Béziera w kształt przykładowej litery „S”. Po usunięciu przerywanych linii pomocniczych, węzłów i punktów kontrolnych oraz po nadaniu krzywej jednopikselowej grubości otrzymamy obraz, który umożliwi w prosty sposób dokonanie pomiaru długości przykładowej litery „S”.



Ryc. 5 A – po usunięciu elementów sterujących, B – po nadaniu jednopikselowej grubości

Gdy więc mamy do dyspozycji obraz jak na ryc. 5 B, znalezienie długości linii tworzącej literę „S” jest bardzo proste. Algorytm takiej operacji polega na

badaniu bitmapy zawierającej na białym tle czerwoną linię o grubości jednego piksela. Po zakończeniu analizy liczba zsumowanych w bitmapie pikseli „niebiałych” określa długość linii (oznaczoną przez „L”), wyrażoną w pikselach. Ponieważ każdy piksel ma określone wymiary geometryczne⁸, można zatem przeliczyć długość linii, np. na milimetry. Kolejnym pomiarem niezbędnym do określenia gęstości pisma jest pomiar szerokości i wysokości badanej linii graficznej. Także i w tym przypadku algorytm takiego pomiaru nie jest skomplikowany. Wystarczy znaleźć współrzędną „X1” (poziomą) pierwszego niebiałego piksela, licząc od lewej strony bitmapy, oraz współrzędną „X2” (poziomą) pierwszego niebiałego piksela z prawej strony bitmapy. Różnica współrzędnych $DX = X2 - X1$ to poszukiwana szerokość linii graficznej. Analogicznie wysokość linii graficznej określa się poprzez wyznaczenie współrzędnej „Y1” pierwszego od góry niebiałego piksela oraz współrzędnej „Y2” pierwszego od dołu niebiałego piksela bitmapy próbki. Różnica współrzędnych $DY = Y2 - Y1$ to wysokość linii graficznej. W ten sposób mamy do dyspozycji wszystkie dane, umożliwiające określenie poziomej i pionowej gęstości badanego zapisu. Przyjmując zatem oznaczenia:

L – długość linii graficznej

$DX = X2 - X1$ szerokość linii graficznej

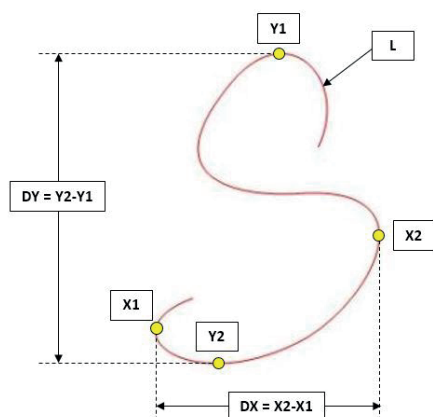
$DY = Y2 - Y1$ wysokość linii graficznej

Wprowadzamy parametry charakteryzujące gęstości badanego zapisu jako poniższe ilorazy:

Gęstość pozioma $GH = DX/L$

Gęstość pionowa $GV = DY/L$

Na ryc. 6 przedstawiono omówione wyżej parametry.



$$\text{gęstość pozioma } GH = \frac{DX}{L}$$

$$\text{gęstość pionowa } GV = \frac{DY}{L}$$

Ryc. 6. Gęstość pozioma i pionowa

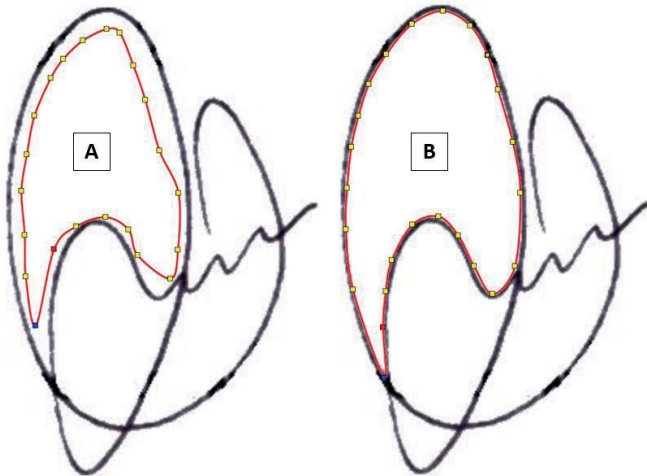
⁸ Wymiar piksela nie jest wielkością stałą. Każdorazowo zależy od producenta monitora (wyświetlacza) i rozdzielczości, w jakiej pracuje dany komputer. Zawsze jednak jest możliwe przeliczenia wymiarów piksela na inne jednostki, np. milimetry.

Łatwo zauważyć, że parametry GH i GV są tożsame z parametrami gęstości uzyskiwanymi w aplikacji SKELGRAF (różnią się tylko oznaczeniami). Teoretyczny zakres matematyczny tych parametrów to przedział wartości od 0 do 1. Wartość zerowa nie występuje w praktyce, oznaczałaby bowiem, że próbka nie ma szerokości czy wysokości, czyli nie istnieje. Druga skrajna wartość równa 1 oznacza z kolei, że długość linii graficznej L jest równa szerokości (wysokości) tejże linii, a zatem taka linia byłaby praktycznie poziomą (pionową) kreską, niezawierającą żadnych informacji grafometrycznych.

Na pokreślenie zasługuje fakt, że pomiary omówionych parametrów zostały przeprowadzone bez manualnego odrysowywania (odtworzenia) przebiegu linii graficznej, bez uciążliwości związanych z edycją tła badanej próbki, bez niosącej pierwiastek subiektywizmu binaryzacji obrazu i bez konieczności zapoznawania się z zawiłymi morfologicznymi przekształceniami obrazu, w tym z detekcją szkieletu czy konturu.

Zastosowanie krzywych zamkniętych do określania podobieństwa kształtu

Krzywe zamknięte wykazują pewne analogie do krzywych Béziera, chociaż są konstruowane według innych reguł matematycznych. Krzywa zamknięta może być zbudowana z dowolnej liczby przesuwalnych punktów kontrolnych, przy czym punkt kończący krzywą jest automatycznie lokalizowany dokładnie w punkcie początkowym. Dzięki temu powstaje zamknięta powierzchnia o zupełnie dowolnym kształcie, który można swobodnie modelować, przesuwając punkty kontrolne. Zamknięta powierzchnia może być wypełniona dowolnym kolorem, co ułatwia dokonanie obliczeń, o czym będzie mowa dalej.



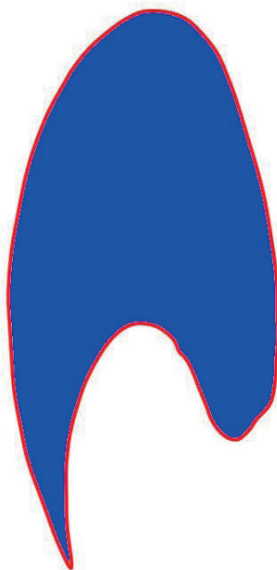
Ryc. 7. A – wstępna lokalizacja krzywej zamkniętej, B – po dopasowaniu do wybranej powierzchni

Badanie próbki polega na wskazaniu dowolnej powierzchni (np. pętlicy) i dokonaniu pomiaru dwóch wielkości, długości obwodu (oznaczenie „L”) i pola powierzchni (oznaczenie „F”) interesującego eksperta fragmentu próbki. Iloraz powierzchni przez kwadrat obwodu to parametr nazwany współczynnikiem kształtu „Wk”⁹.

$$Wk = \frac{F}{L^2}$$

Współczynnik kształtu charakteryzuje pewną powierzchnię badanej próbki i umożliwia analizę porównawczą z analogiczną powierzchnią innej próbki.

Mając zatem zaznaczoną powierzchnię, jak na ryc. 7 B, usuwamy punkty kontrolne, wypełniamy powierzchnię kolorem, np. niebieskim, nadając czerwonej linii stanowiącej obwód powierzchni jednopikselową grubość, co pokazano poniżej:



Ryc. 8. Powierzchnia przygotowana do pomiaru jej pola i obwodu

Algorytm pomiarowy jest analogiczny do krzywych Béziera i również bardzo prosty. Badając wszystkie piksele mapy bitowej obrazu pokazanego na ryc. 8, sumujemy oddzielnie piksele czerwone (obwód powierzchni) i oddzielnie piksele niebieskie stanowiące pole tej powierzchni. Iloraz powierzchni przez kwadrat obwodu jest współczynnikiem kształtu „Wk”, o czym była mowa wcześniej.

⁹ Współczynnik kształtu „Wk” był zastosowany w programie GRAFOTYP. Opracowany został w oparciu o zasady podobieństwa figur na podstawie: A. Cewe, H. Nahorska, I. Pancer, *Tablice matematyczne*, PODKOWA, Gdańsk 2008, s. 110.

Jak widać z powyższych rozważań, zastosowanie do pomiarów grafometrycznych krzywych Béziera i krzywych zamkniętych jest stosunkowo proste. Wymaga jednak odpowiedniej aplikacji komputerowej, która przy niewielkim udziale użytkownika wykonałaby wszystkie opisane wyżej czynności. Aplikacja taka jest w trakcie opracowania w Instytucie PTK pod roboczą nazwą „ANALIZA KRZYWOLINIOWA”.

Uwagi końcowe

Warto zwrócić uwagę, że korzystając z krzywych Béziera, można odtworzyć (skopiować) praktycznie każdy podpis (lub inny zapis), jeżeli dysponuje się jego wzorem. Oznacza to niebezpieczeństwo możliwych fałszerstw. W świetle obecnej powszechnej komputeryzacji, dostępności edytorów grafiki, skanerów, drukarek i podobnych urządzeń wklejenie spreparowanego podpisu do fałszywego dokumentu nie nastręcza większych trudności. Jest to jednak fałszerstwo bardzo prymitywne. Linia takiego podpisu (zapisu) ma stałą grubość, jest całkowicie pozbawiona cieniowania występującego w piśmie naturalnym. Ekspert badań pismoznawczych bez trudu zidentyfikuje tak spreparowany podpis. Natomiast w codziennej życiowej praktyce, kiedy niektóre sprawy urzędowo-bankowe załatwia się w pośpiechu, nie można wykluczyć prób posłużenia się tak sfalszowanym dokumentem w różnych celach. Pomijając jednak ten aspekt, należy podkreślić, że omówiona aplikacja stanowi kolejną propozycję zespołu badawczego Polskiego Towarzystwa Kryminalistycznego wykorzystania technik komputerowych w badaniach pismoznawczych.

Streszczenie

Krzywe Béziera to parametryczne krzywe powszechnie stosowane m.in. w programach do projektowania inżynierskiego CAD, projektowania grafiki komputerowej (Corel Draw, Photoshop, GIMP, Adobe Illustrator itp.), w grafice wektorowej itp. Autorzy opracowania przedstawili możliwość zastosowania krzywych Béziera a także krzywych zamkniętych do pomiaru długości linii graficznych pisma ręcznego i gęstości pisma oraz parametrycznego określania podobieństwa kształtu znaków graficznych pisma ręcznego i podpisów.

Słowa kluczowe: krzywe Béziera, nowelizacja, długość linii graficznej, gęstość pisma, gęstość pozioma, gęstość pionowa, współczynnik podobieństwa kształtu

Summary

A Bézier curve is a parametric curve frequently used, among others, in CAD programs, computer graphics programs (Corel Draw, Photoshop, GIMP, Adope Illustrator etc.) or vector graphics. The Authors of this study have presented the possibilities of application of Bézier curves as well as closed curves to measurements of length of handwriting line, writing density and to the parametric determination of similarity of shape of letters and signatures.

Keywords: Bézier curve, novelisation, length of handwriting line, handwriting density, horizontal density, vertical density, shape similarity coefficient