

多階層 L_1 平滑化スプラインを用いたデジタルインクのデータ圧縮

三重野 雄太[†] 松木田 啓嗣[†] 藤岡 寛之^{††}

[†] 福岡工業大学院工学研究科 ^{††} 福岡工業大学システムマネジメント学科

1 はじめに

タブレット PC などの出現により PC 上に手書き文字を入力する場面が多くなりつつある。そのような文字は筆跡をある時刻ごとにサンプリングした“デジタルインク”と呼ばれる位置データの系列として生成される。しかし、筆記時間が長くなるにつれデータサイズが大きくなるため、デジタルインクのデータ圧縮について研究がされている。

本研究では、B スプラインを用いたアプローチによる多階層平滑化スプラインを用いたデジタルインクのデータ圧縮法の開発を行う。特に、多階層 L_1 平滑化スプラインの理論を応用し、PC 画面上のフリクショレスシートなどの影響により筆記中に起こしがちな“筆滑り”に対してロバストな圧縮法の実現を目指す。提案手法の有用性について実験により検討する。ここで用いたデジタルインクに対し提案手法で圧縮し、さらにスパース正則化の1つである Lasso を用いることで、最終的に元デジタルインクデータを約 7% にまで圧縮できたことを示す。

2 多階層 L_1 平滑化スプラインによるデータ圧縮

今、デジタルインクのデータの集合

$$D = \{(s_i, d_i) : s_i \in [t_0, t_m], d_i \in \mathbf{R}^2, i = 1, 2, \dots, N\} \quad (1)$$

が与えられているとする。ただし、 D には筆すべりに相当するいわゆる外れ値が含まれているものとする。このとき D に対して正規化されたような 3 次 B スプライン関数を基底関数として用いた曲線 $x(t) \in \mathbf{R}^2$ ($x(t) = [X(t) Y(t)]^T$,

$$x(t) = \sum_{i=-3}^{m-1} \tau_i B_3(\alpha(t - t_i)), t \in [t_0, t_m] \quad (2)$$

で近似し、制御点 $\tau_i, i = -3, -2, \dots, m-1$ の系列 $\tau = [\tau_{-3} \tau_{-2} \dots \tau_{m-1}] \in \mathbf{R}^M$ ($M = m + 3$) (これを“制御多角形”と呼ぶ) としてデータ圧縮する。 $\alpha (> 0)$ は節点 t_i の間隔を調節する定数、 $m (\geq 2)$ は運動の時間を調節する整数である。

このとき“筆滑り”を含むデジタルインクから制御多角形 τ 得るために次のような問題を考える。ただし簡単化のため $x(t)$ の各要素毎に下記問題を適用する。

問題 1 (多階層 L_1 平滑化スプライン) 評価関数 $J(\tau)$ を最小にするような $x(t)$ もしくは等価的なベクトル τ を見

つけよ。

$$\min_{\tau \in \mathbf{R}^M} J(\tau) = \lambda \int_{t_0}^{t_m} (x^{(2)}(t))^2 dt + \sum_{i=1}^N \sum_{l=0}^p w_i^l E_\epsilon(x^{(l)}(s_i) - d_i^{(l)}) \quad (3)$$

ここで、 $\lambda (> 0)$ は平滑化パラメータ、 $w_i^l (0 < w_i^l \leq 1) \forall i, l$ は近似誤差に対する重みである。 $d_i^{(l)}, l = 0, 1, 2, \dots, p (\leq 2)$ は (1) 式のデジタルインクのデータ d_i から数値微分により得られる l 階微分の値を示す。 $E_\epsilon(z)$ は ϵ -許容 L_1 誤差関数であり、ある程度の誤差 ϵ を許容し、ガウスノイズのみに対して有用な従来の 2 次誤差関数を緩和したものとなっている。問題 1 は凸 2 次計画問題として記述ができ、ここでは CVX を使って数値的に解いている。

3 データ圧縮実験

例として、ペンタブレット上でスタイラスを使って書いた文字「hello」に対するデジタルインクを用いてデータの圧縮数値実験を行う。デジタルインク d_i は筆記時刻区間 $[t_0, t_m] = [0, 15][s]$ で 20[ms] 毎に計測されておりデータ数 $N = 750$ である。また筆記時刻内でランダムに選んだ 0.1 秒間の区間に筆滑りに相当する外れ値データを人工的に加えてある。そのようなデータに対して以下の 3 種類の手法: (A) 多階層 L_1 スプライン, (B) Lasso, (C) 多階層 L_1 スプライン+LASSO, でデータ圧縮を行った。手法 (A) における各パラメータは $p = 2, \lambda = 10^{-3}, w_i^l = 1, \alpha = 10$ と設定した。また、手法 (B) の Lasso においては解における非零の成分数 q を $q = 50$ とする。図 1 に手法 (A)-(C) によりデータ圧縮をした後、(1) 式を使って復元した結果を示す。このとき手法 (A) は制御点の総数 M は $M = 153$ であり、データの圧縮率 (M/N) は 20.4% となる。手法 (B) では 7% ($= q/N$) であった。ただし、手法 (B) の場合には筆滑りの影響を除去して圧縮はできない。一方、提案手法を使った手法 (A) と (C) は筆滑りに対してロバストなデータ圧縮を実現でき、特に手法 (C) は手法 (B) と同じ約 7% の圧縮率であり本手法の有用性がわかる。

参考文献

- [1] 内藤ら, デジタルインクの一圧縮・復元方式, 情報処理学会研究報告, Vol.94, pp.9-16, 1996.
- [2] S. S. Chen and D. L. Donoho, Atomic Decomposition by Basis pursuit, *SIAM Review*, Vol.43, No.1, pp129-159, 2001.

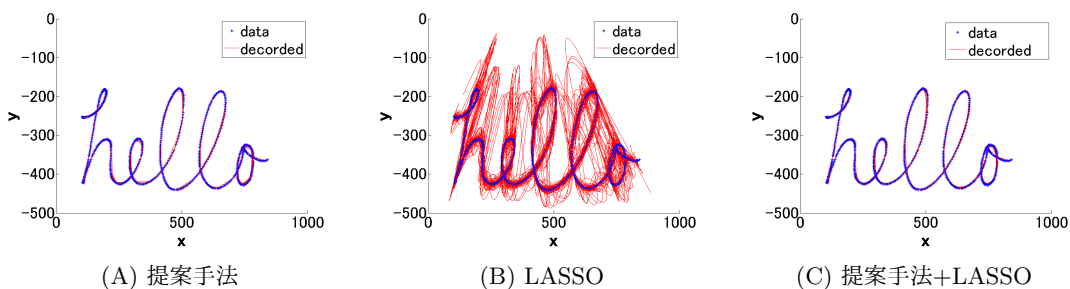


図 1: 実験結果