

## 再帰的 NURBS 処理手法を用いたモバイル通信での 3次元仮想空間内での自由曲面の圧縮転送方法の検討

亀田 通<sup>1</sup>, 井手口 哲夫<sup>2</sup>, 岡崎 直宣<sup>1</sup>, 厚井 裕司<sup>1</sup>

Email:kameda@isl.melco.co.jp

<sup>1</sup>三菱電機(株)情報技術総合研究所 <sup>2</sup>愛知県立大学 情報科学部

インターネットの普及により、モバイル端末からの情報アクセスも可能となってきた。しかし、このようなモバイル端末から高度で柔軟な3次元仮想空間内の仮想物体を無線回線を介して受信し操作することは、その伝送速度の制約から利用勝手の悪いものとなっている。このような問題を解決するために、本論文ではWebサーバ上で構築する3次元仮想空間内の仮想物体や人物キャラクタなどの自由曲面の膨大なポリゴンデータを、無線通信回線においても転送可能とするデータ圧縮復元方式を提案するものである。

本論文では、主にNURBS処理(Non-Uniform Rational Base-Spline)を再帰的に用いて、自由曲面を、特定領域での変曲点を維持しつつ、パラメータを最少にし、そのパラメータのみを伝送することで仮想空間内の自由曲面を再構成し、仮想物体を再現させる方式を提案する。

### Consideration of data compression and transmission method using the recursive NURBS processing for non uniform surface in 3D virtual space with mobile terminals.

Tohoru Kameda<sup>1</sup>, Tetsuo Ideguchi<sup>2</sup>, Naonobu Okazaki<sup>1</sup>, Yuuji Kouji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

<sup>2</sup>Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Web access with mobile terminals is gradually available in these days. But it is too hard to manipulate a virtual object on low speed wireless line in 3D virtual space. We present a new approach to compress a non-uniform surface data of virtual object. We developed recursive NURBS processing method and tried to use such method for reduction the parameter data of virtual object and tried to transfer only reduced parameters, and then reconstructed 3D object in virtual space.

#### 1. はじめに

従来のWebにおける3次元仮想空間の提示は、プリミティブと呼ばれる原始的な定型形状のみの構成でなされている。近年、バーチャル・モールドの店舗開設が盛んになり、商品に現実的なものも持ち込まれようとしている。しかし、これらは先述のプリミティブのみでは自由な表現が得られず、魅力ある商品の展示が困難なため、これらをポリゴンという小片を組み合わせて実現し、自由曲面を表示させている。しかし、これらを使って現実に近い仮想物体商品を顧客に配布しようとする、ポリゴン・データが爆発的に増大してしまう。特に無線回線を介して配布しようとした場合、トラフィック量の観点から無線回線での配布は実用とはなっていない。

一方、3次元グラフィックは、ゲーム分野で応用が進んでおり、Webでも3次元チャット広場でア

バタ(化身)として導入され、ポリゴン・ベースの3次元人物キャラクタやそのアニメーションは、既に一般的となっている。しかしこれらをモバイル端末で表示させ、取り扱おうとすると、VRML(Virtual Reality modeling Language)上での仮想物体の変形するものに対する反応が遅くなり、非常に操作しづらいものとなっている。

本稿では、このような状況を考えて、従来3次元CADの分野で使われて来たNURBS関数処理<sup>[1]</sup>を利用し、自由曲面データを圧縮する方式を提案するものである。

近年、ウェアラブルPCなど開発されており処理速度が高性能になって来ているが、送受信の双方に、圧縮手法による大きな計算処理のコストを負わせることは避けるべきである。そのため本格的で厳密な中間節点の生成法などの手法<sup>[2-4]</sup>もあるが、モバイル環境にも適用可能な方式を検討する。一般に、

NURBS の原関数であるスプライン関数は、ラグランジュ多項式などと異なり、ルンゲ現象（コブ的なもの）などが現れにくく、安定に処理できるという利点がある。また、次数が増すごとに係数データ数も指数関数的に増加することも指摘されているため、ここでは安定に表現できる最小限の（4階）3次の NURBS を採用する。

まず、ここで提案する NURBS 関数処理での無冗長化の手法の有効性を検証する。すなわち、単純な矩形についての圧縮操作と、これによって生ずる曲線変形について、具体的な数値計算により評価を行う。つぎに今後よく用いられると考えられる「顔」の粗い形状（以下、概形）を評価用サンプルデータとして使用し、その効果を考察する。

以下、2章では、提案の方式の基本的な概念を、仮想商品や仮想遊園地内の人物キャラクタの場合で説明し、つぎに本提案の無冗長化 NURBS の方式を説明し、その理論的背景を述べる。3章では、有効性検証の結果と、評価用データによる実験結果について述べる。

## 2 再帰的 NURBS 方式

### 2.1 基本的な考え方

インターネットの3次元仮想展示で現実と同じ一般商品を展示するには、プリミティブ形状と自由曲面の表現の両方が使用されなければならないと考えられる。また、将来はモバイル・コンピューティングにおいても無線回線を介しての3次元 Web 閲覧などが一般化するものと考えられる。

図1は、仮想商品や人物キャラクタを圧縮転送する無線回線でのシステムの例である。まず配布しようとする3次元商品や人物キャラクタの骨格を抽出し、その後この骨格データの冗長性を削除し、必須なパラメータのみを残す。そしてこの無冗長化によって生じる歪を補償するため、必須な骨格データ自体を補正する。その後データが無線回線で送信される。受信側では、送られて来た補正済の骨格データから、商品やキャラクタを復元する。

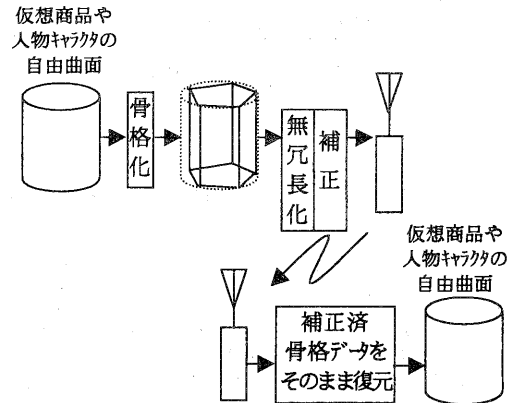


図1 商品展示や人物キャラクタ送付での無線システムの概要

Fig.1 Overview of virtual mole system on wireless system.

### 2.2 再帰 NURBS 関数処理手法を用いた無冗長化 NURBS パラメータの転送方式

一般に、既に構築された稠密な基底関数の階層構造に、任意の操作を加え、解き崩し改変させることは、非常に困難な作業である。また節点を内挿する作業も、周囲を含めた計算量が多く、困難な作業といえる。他に、多重 Knot（節点）を設定するなどの手法もあるが、特異点が生成される危険性も発生する。したがって、本提案では、NURBS 曲線の曲率差分商から極値を探索し、選別した点列を新しいパラメータ点列とし設定する。

このようにして、パラメータ点列を精選し、区間を可能な限り多分割し、NURBS 関数処理を行なう。しかし、この方法はスパース（まばら）座標系を作ることとなり、それゆえルンゲ現象も発生しやすくなる。もしこれが発生すれば、誤った極値が混入され、誤った点列が選定される。それゆえ、ルンゲ現象の検出を厳密に行わなければならない。もし起こった場合は、再入補間することで、これらの回避処置を行なう。

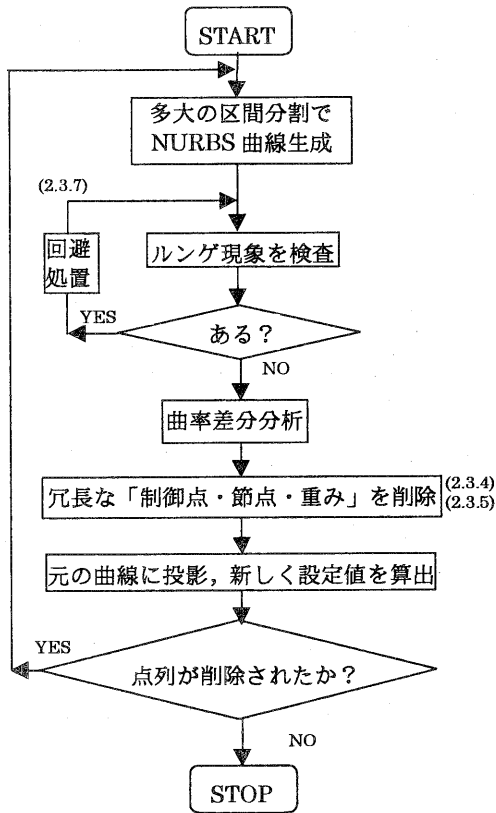


図2 再帰 NURBS のパラメータ最適化処理ルーチン

Fig.2 Routine for parameter vector optimization.

以上の前提のもとに、図2に示す処理系を考案し、数値計算によりその動作を検証する。

まず、初期に与えられたパラメータ値（制御点、Knot、重み係数）で、NURBS 曲線を描画する。このとき、可能な限り多くの分割数に設定し、ルンゲ現象の探索を行なう。得られた曲線にルンゲ現象が無い場合、この曲線の曲率差分商を求め、極値探索し、冗長な点列パラメータを削除する。削除後、残った重み係数値や制御点や Knot などのパラメータの座標値を補正する。そして冗長なパラメータが見つからず、削除が行われなかった時点で、これら

の点列が最適化されたものとみなして、終了する。このようにして、NURBS 関数処置を再帰的に動作させ、無冗長化 NURBS 処理を行なう。

また、これらの処理は VRML 配布の WWW サーバ上で実現できるため、Web リモートアクセスの合間にバックグラウンド処理として再帰処理を行うことにより、本処理の時間コストは、殆ど問題にはならないと考えられる。

### 2.3 理論的背景

本提案の理論的背景を述べる。図2の図中の数値は、以下の説明の項の番号に対応する。

#### 2.3.1 最適な節点個数、配置の算出の基本目的

自由曲面を圧縮するためには、その代表点とそれに帰順する曲面で構成する方法が相当であると考えられる。また自由曲面は、一般に冗長性が含まれる連続体であることから、その冗長性を排除することにより情報量の圧縮を行なう。

#### 2.3.2 最適データ点列の条件

一価関数  $g(t)(a \leq t \leq b)$  から  $n$  個のデータ列を選び  $(t_1^*, p_1^*), (t_2^*, p_2^*), \dots, (t_n^*, p_n^*)$  とする。

この点列を  $g(t)$  に対する最適データ点列とする。これらを対象とする4階の NURBS 関数であることから  $C^3(a, b)$  クラスの関数と考えられるため、 $O(n^2)$  の収束をする点列を得ることが可能である。これら点列は、条件  $f(t_i) = (Cf)'(t_i)$  (すなわち、 $g'(t_i) = (Cg)'(t_i)$ ) が高精度に満足されるとき、最適データ点列を与えられる。また、点列を増加させることにより、この条件が精度良く満足されることとなる。

#### 2.3.3 点列生成と重み係数

一価関数  $g(t)$  が既知である場合で、この一価の原関数が陽に与えられておらず、点列の集合として与えられている場合に、点列  $(t_i; p_i)_{i=1,2,\dots,n}$  から次の関係が示される。

$$\Delta p_i = (p_{i+1} - p_i)(t_{i+1} - t_i) \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad (1)$$

(1)式によって定義される2階の差分商を計算すると、次のようになる。

$$\Delta^2 p_i = (\Delta p_{i+1} - \Delta p_i) / (t_{i+2} - t_i) \quad i=1, 2, \dots, n-2 \quad (2)$$

次に、二階差分商  $\Delta^2 p_i$  を  $g''(t)$  の代わりに用いて、積分を台形積分の数値積分で行えば、曲線の「うねり」の計算ができる。このとき、被積分関数を、(3)式に定める。

$$\Delta^2 p_i = w_x \Delta^2 p^x + w_y \Delta^2 p^y + w_h \Delta^2 p^h \quad (3)$$

ここで、

$\Delta^2 p^x_i, \Delta^2 p^y_i, \Delta^2 p^h_i$  は 2 階差分商、

$w_x, w_y, w_h$  は重み係数である。

重み係数は、それぞれのデータ点の選定に寄与する割合を変化させることが可能で、後の処理で変化させる。

### 2.3.4 冗長点列の削除

NURBS の場合、陽に現れない Knot (節点) の分布も影響する。そして、同次座標への制御点の写像の重み係数も、大きく影響する。今、 $C^2$  接続の場合の制御点、重み係数の関係は、有理補間として、次のようになる。

$$\begin{aligned} P_1 &= \Psi [(\lambda_2 + \lambda_1)] (P_1, P_1) \\ P_0 &= \Psi [\lambda_1 w_1 + \lambda_1 w_1] (P_1, P_1) \\ P_1 &= \Psi [\lambda_0 w_0 + \lambda_2 w_2] (P_0, P_2) \\ &\vdots \\ P_{n-1} &= \Psi [\lambda_{n-2} w_{n-2} + \lambda_n w_n] (P_{n-2}, P_n) \\ P_n &= \Psi [\lambda_{n-1} w_{n-1} + \lambda_{n+1} w_{n+1}] (P_{n-1}, P_{n+1}) \end{aligned} \quad (4)$$

この変化の影響は、本手法の場合も例外なく現れる。ここでは、この影響を補正効果として利用する。削除処理後に残ったこれら無冗長の制御点  $P_i, P_{i+k}$  で代表させ、効果的に使用し曲線を生成させる。

### 2.3.5 点列の評価

与えられた点列が、3 次スプライン補間を適用場合に十分であるかどうかを評価するため、この与えられた点列に対し、各セグメント毎に、次の計算を行う。

$$\int_0^1 |6\alpha_i u + 2\beta_i| du \quad (5)$$

ただし、 $\alpha_i, \beta_i$  は、

$$P_{n+1} = \Psi [\lambda_n w_n + \lambda_{n+2} w_{n+2}] (P_n, P_{n+2})$$

これを  $P_2$  から  $P_{n-2}$  までの制御点を削除し、削除後の番号も、そのまま表現すると、次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} P_1 &= \Psi [(\lambda_2 + \lambda_1)] (P_1, P_1) \\ P_0 &= \Psi [\lambda_1 w_1 + \lambda_1 w_1] (P_1, P_1) \\ P_1 &= \Psi [\lambda_0 w_0 + \lambda_{n-1} w_{n-1}] (P_0, P_{n-1}) \\ P_{n-1} &= \Psi [\lambda_1 w_1 + \lambda_n w_n] (P_1, P_n) \end{aligned}$$

$$\vdots$$

$$P_n = \Psi [\lambda_{n-1} w_{n-1} + \lambda_{n+1} w_{n+1}] (P_{n-1}, P_{n+1})$$

$$P_{n+1} = \Psi [\lambda_n w_n + \lambda_{n+2} w_{n+2}] (P_n, P_{n+2}) \quad (6)$$

これにより、スプース座標系を与えられたこととなる。

### 2.3.6 重み係数の曲線形状への影響と効果

重み係数を  $w_0$  から  $w_0 + \Delta w_0$  に変化した場合、変化後の曲線を  $R'_0(t; n)$  とすると、次の式で与えられる。

$$\begin{aligned} R'_0(t; n) &= \frac{(1-t+tE)^n w_0 P_0 + \gamma_i(t) \Delta w_i P_i}{(1-t+tE)^n w_0 + \gamma_i(t) \Delta w_i} \\ &= \Psi[\gamma_i(t) \Delta w_i; W_0(t; n)](r_0(t; n), P_i) \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $n$  は次数で、

$\gamma_i(t)$  は、Bernstein の基底  $(\binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i)$

各セグメントにおける  $u^3, u^2$  の係数これらは、Malcolm<sup>[16]</sup>, Akima<sup>[16]</sup>, Pruess<sup>[17]</sup> の例にも適用される。Malcolm では、データが適切かが分かり、Akima や Pruess では、適宜のセグメントのデータが不足しているかが判別できる。

### 2.3.7 座標補間

$g(t) (a < t < b)$  が、ある補間関数の  $Jg(t)$  によって補間されているものとする。

このとき、2 階導関数補間誤差は、

$$\|g(t) - Jg(t)\|''_{en} = \max_{a \leq t \leq b} |g''(t) - (Jg)''(t)| \quad (8)$$

で定義される。

一般的に、以下の式で、

$$\|g''(t)\|_2^2 dt = \frac{i-1}{n-1} \int_a^b |g''(t)|_2^2 dt \quad (9)$$

$i=2,3,4,\dots,n-1$

である。それゆえ、

$$\|g(t) - Jg(t)\|_{e_n} = O(n^{-2}) \quad (10)$$

であり、 $f(t) \in C^2(a,b)$ についても  $f(t)$ の2階導関数が、同様に(9)に示す式を満足していれば、

$$\|f(t) - Cf(t)\|_{e_n} = O(n^{-2}) \quad (11)$$

となる。それゆえ原関数を  $O(n^2)$ の精度で近似できる  $f(t)$ が生成できた事となる。

### 3. 適用結果と評価

#### 3.1 基本枠型データの圧縮効果

表1は、基本枠型を種々の枠長に設定し、それに付随して起こる圧縮率で圧縮した場合の曲線の変形率を計測したもので、この結果、圧縮率の条件に応じた最適補正値が存在する事が明白となった。

表1 圧縮率と変形率との関係の数値

Table 1 Relation between compressibility and deformity.

凸部のみの重み補正処理

曲線の変形率(%)	同次座標への写像時の重み係数	同次座標への写像時の重み係数				
		2	4	8	16	32
モデル長 L4 (1/15)		5.039	5.491	7.747	10.241	12.441
モデル長 L8 (1/20)		7.412	5.162	4.659	5.151	5.908
(圧縮率)	L12(1/30)	8.351	5.405	4.087	3.853	4.092
	L16(1/40)	8.846	5.574	3.881	3.276	3.238

図3は、表1の結果をグラフとして表現したものである。それぞれの基本枠長に応じて最大限可能な圧縮率での最適な補正の為の同次座標への射影の重み係数が存在する事が確認できる。

図4は、任意の基本枠型(モデル長)データを、無圧縮のまま再現した結果と、圧縮して再現した結果を比較したグラフである。無圧縮のままの曲線に対し、冗長パラメータを削除して圧縮し、再現したものは、曲線に変形が起きている。これは、デ

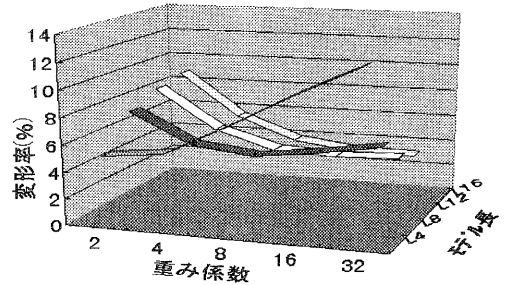


図3 圧縮率と変形率との関係のグラフ  
Fig.3 Graph between compressibility and deformation.

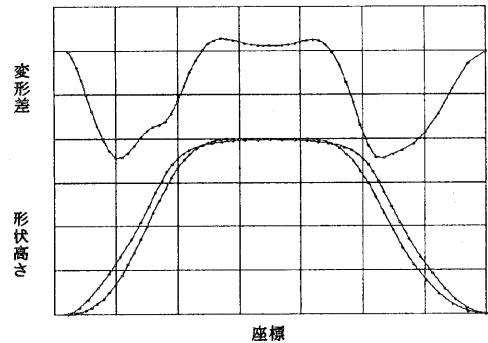


図4 曲線変形の様子と変形差  
Fig.4 Figure about deformation and difference.

ータ削除型の圧縮であるため、避ける事ができない。

#### 3.2 再帰化の評価

冗長制御点の削除と共に、knot(節点)の最適値化も施し、臨界制動的な曲線にまで削減を繰り返すと、データ個数はそれに応じて減少し、かなり圧縮できた。これは、図2に示す最外郭の繰り返しルーチンが、大きく貢献していると考えられる。また通常のアプリケーションではバックグラウンド処理であるが、もし実時間処理をする場合があっても、各個の計算コスト自体は僅少であるので、ルーチン全体としても、影響が小さいと判断される。

#### 3.3 顔の概形サンプルデータでの評価結果

実際のアプリケーションで良く使われるである

うと予想される顔の粗いデータ列を評価用のサンプルとして用い、図1の圧縮転送・復元のシステムの評価を行った。この実験での圧縮率は、送受側のそれぞれの区間区分数が10の場合のグラフ例である。

表2 無冗長化での圧縮効果  
Table 2 Compression effect of reduction.

圧縮率	処理後の個数	元の個数
1/4.324	706	3053

表2は、NURBSパラメータを本手法で無冗長化する事での圧縮効果である。削除する事で、約1/4にまで、データ削減されている。

表3 ポリゴン方式との比較での圧縮率  
(同じ曲面の滑らかさで)

Table 3 Comparison between this method and polygon flow.  
(On same degree of smoothness.)

	圧縮率	実際個数
10分割	1/221.898	706/156660
20分割	1/443.796	706/313320
40分割	1/887.592	706/626640

表3は、復元する顔の滑らかさを同じにするのに必要なデータ個数を、本提案の無冗長NURBSの方法と、従来のポリゴンをそのまま送付する方法とを比較した結果である。表3の左欄の10, 20, 40分割は、NURBS再現する時の内挿個数の条件値である。これらの圧縮率は、顔全体の総計での圧縮率を算出したものである。また、ポリゴン数計算は、4個の点を座標を2枚の直角三角形を合わせ重畳した場合とした。

この結果によると、同じ滑らかさの顔形状を得るのに極めて大きなデータ個数の差があり、極めて大きな圧縮効果が得られる事が明らかとなった。

原理的に送信・受信の双方が曲線生成の環境を保

有している中で、必要なパラメータのみ送っている

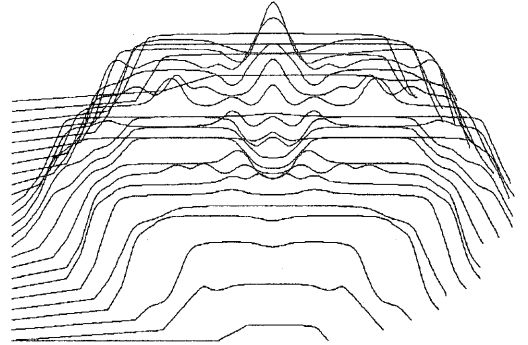


図5 送信側の顔の概形  
Fig.5 Face shape data in transmitter side.

ので、極めて僅少なデータ個数で済ませる事ができ、また受信側では、再生時に、必要に応じて独自に、送信側以上の滑らかさで曲面を再現する事も出来る。その再現比の密度を上げれば上げるほど比例し、圧縮率も結果的に向上された事になる。

図5は、送信側の原型の顔の概形で、図6は、その圧縮転送され受信したデータで復元した顔の概形である。比較してみると、原型は平面部分が多

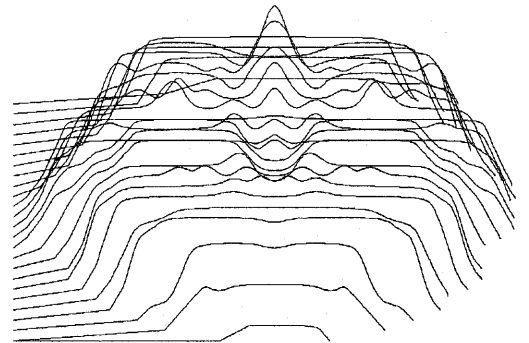


図6 受信側の再現した顔の概形  
Fig.6 Reconstructed face shape data in receiver side.

いが、復元した顔の概形は、やや丸みを帯びているように見える。顔全体の平均変形率は、約6%ほどで、殆ど無視できるのではないかと考えられる。

なお圧縮率は、各ラインで異なるため、全体データとして総合で評価しなければならない。

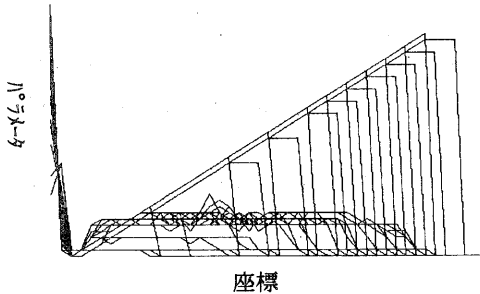


図7 顔の概形の原データ群  
Fig.7 Volume of original face data.

図7は、原型のデータ群の様子で、縦軸は、パラメータ値（制御点、節点、重み係数）などが重畳表示されている。  
横軸は、座標系のパラメータを表している。

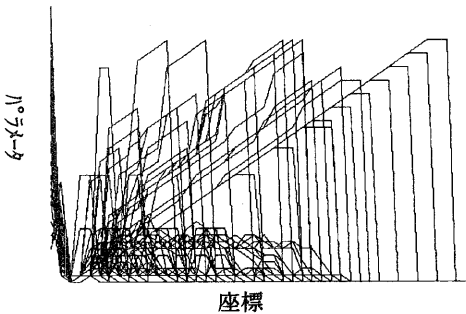


図8 送信する顔の概形の圧縮データ群  
Fig.8 Volume of processed compressed face data for transmitting.

図7の冗長があるままのデータ群と、図8の無冗長化処理をしたデータ群とを比較すると、横軸の座標系パラメータが圧縮、削減されている事が把握できる。（これらの縦軸のパラメータのいくつかは、送信側と受信側の系が一致しておれば、省略可能なものである。）

### 3.4 考察

本論文で採用した NURBS での方式は、原理的に既に既定の圧縮率を内在している。しかし本提案では、これをさらにパラメータの無冗長化削除を行い、さらなる圧縮を施した。その結果、冗長なパラメータ（制御点・節点・射影重み）を削除することで、同方式による通常の特長以上に、データ圧縮が可能である事が確認できた。そして、無冗長化の為に発生する歪を補償するために、パラメータの調整・補正をする事によって、冗長ある通常のデータ群に対し、逐色の無い曲線・曲面の圧縮転送の実現できることが確かめられた。

### 4. まとめ

本稿では、CAD 分野での NURBS 処理をインターネット仮想空間配布での自由曲面データの圧縮転送・復元のシステムに適用した。また NURBS 処理をさらに効果的にするため、パラメータの冗長削減を再帰的に処理することで実現した。また実際の応用で良く使われると予測される顔のデータを用い、その効果を計測した。これにより高度のデータ圧縮効果がある事を確認した。これらはモバイル環境で特に有用になると考えられる。

また、NURBS 関数処理をする事で、受信側での LOD (Level of detail) が無限に階層化できる利点もあり、柔軟な弾性構造を持つ仮想物体などの配布も可能になると考えられる。

今後の課題として、国際標準案である VRML 97<sup>[18]</sup>や MPEG-4<sup>[19]</sup>への拡張的組み込みも考慮しなければならない。

### 参考文献

- [1] de Boor, C "A Practical Guide to Splines", pp.392, Springer-Verlag, New York (1978).
- [2] 吉本, 津田 "スプライン関数を用いた多次元データの平滑化—ベクトル計算機向けの算法—", 情報処理学会論文誌 Vol.29 No.1 pp.73-80 (1988)
- [3] 栗山, 橋 "拡散システムを用いたポリゴン曲面

- の生成手法”, 電子通信学会論文誌, Vol.J80-D-II No.10 pp.2761-2769 (1990)
- [4] 原田 “3 次スプライン補間のためのデータ選択の一手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.31 No.1 pp1-9
- [5] 斎藤, 穂坂 “有理 Bezier および有理スプライン曲線曲面の直感的構成方と形状制御”, 情報処理学会 Vol.32 No.4 pp.448-459 (1991)
- [6] 今野, 千代倉 “C<sup>1</sup>連続な NURBS 境界 Gregory パッチによる複雑な位相を持つ曲線メッシュの接続法”, 情報処理学会, Vol.39 No.1 pp.70-80 (1998)
- [7] 今野, 千代倉 “NURBS 境界 Gregory パッチによる自由曲面形状の内挿方法”, 情報処理学会, vol.35 No.10 pp.2203-2213 (1994)
- [8] 原田, 中前 “閉曲線点列の 3 次スプライン補間問題における「うねり」除去の一手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.3, No.3, pp.219-225 (1982)
- [9] Josef Hoschek “Approximate conversion of spline curves”, CAGD, Vol.4, pp.59-66 (1987)
- [10] L.Bardis and N.M.Patrikalakis “Approximate conversion of rational B-spline patches”, CAGD, Vol.6, pp.189-204 (1989)
- [11] Jin J. Chou, Les A. Piegl “Data Reduction Using Cubic rational B-splines”, IEEE CG&A, pp.60-68 may (1992)
- [12] 栗山, 橘 “拡散システムを用いたポリゴン曲面の生成手法”, 電子情報通信学会論文誌 D-II No.10 pp.2761-2769 10月 (1997)
- [13] 西田, 松田, 高栄 “曲線上の最短点検出を利用した自由形状変形法”, 画像電子学会誌, Vol.27 No.4 pp.287-297 (1998)
- [14] 吉本 “自由節点のスプライン関数を用いた保管について”, 情報処理学会論文誌, Vol.22 No.4 pp304-311 July (1981)
- [15] Malcom, M. A. “On the Computation of Nonlinear Spline Functions”, SIAMJ, Num. Anal., Vol.14 No.2 pp.254-282 (1977)
- [16] Akima, H. “A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedure”, J.ACM, Vol.17, pp.589-602 (1970)
- [17] Pruess, S. “An Algorithm for Computing smoothing splines under Tension”, Computing, Vol.19, pp.365-373 (1978)
- [18] ISO/IEC 14772-1:1997 Teh Virtual Reality ModeringLanguage, <http://www.VRML.org/VRML L97/>
- [19] ISO/IEC 14496 CD:MPEG4 CD, <http://dro go.csel.stet.it/mpeg/>