チェーン符号化を用いた自動車用地図画像の可逆符号化方式

正会員 宮 本 剛[†], 正会員 松 田 一 朗[†], 正会員 伊 東 晋[†]

A Reversible Coding Scheme of Map Data for Car Navigation Using Chain Coding

Goh Miyamoto[†], Ichiro Matsuda[†] and Susumu Itoh[†]

あらまし カーナビゲーション用のデジタル地図画像を高効率に可逆圧縮する手法を提案する。地図画像を道路部分と背景部分に分離し、各々に適したチェーン符号化を適用する。交差点の認識や道路の直線性等を利用した種々の工夫を施すことにより、JBIGを上回る高い圧縮率を達成した。

1. ま え が き

近年急速に普及しつつあるカーナビゲーションシステムでは、全国規模の地図画像を CD-ROM 等の容量の限られた記憶媒体に蓄積することが要求されている¹⁾。また最近では、より詳細な地図画像を用いた高機能なナビゲーションシステムや、IC カード等の新しい記憶メディアを用いた小型かつ低コストな装置の開発が進められており、これらの実現を図るためにも、データ圧縮技術を導入した地図画像の高効率な蓄積方式の開発が必要となる。

カーナビゲーション用の表示装置に再生される地図画像は、一般に限定色のデジタル画像とみなすことができ、JBIG 等の可逆符号化方式によって、そのデータ量を削減することができる。本稿では、この圧縮率をより一層改善するために、地図画像の幾何学的性質に着目し、線図形の記述に広く使用されているチェーン符号化²⁾を応用することで、新しい高効率な可逆符号化方式を提案している。

2. 道路部分の符号化

図 1 からわかるように、地図画像は道路部分と背景部分とで明らかに異なる性質を有している。そこで本方式では符号化に先立って両者を分離し、各々を

図 1 地図画像の例 (一部)
Examples of map data. (a) Original image, (b) roads part, (c) backgrounds.

チェーン符号化に基づいて個別に可逆圧縮する。このとき、道路部分の描画に使用する色はあらかじめ数種類に限定されているものとし、それらの色毎に抽出された道路部分に対して以下に述べる符号化操作を順に適用する。すなわち、道路部分を抽出するための特別な処理は不要である。

2.1 道路部分の細線化処理

図 2(a) に示すように、本稿で扱う地図画像では主要な幹線道路が 2 画素幅、それ以外の道路が 1 画素幅

キーワード：地図画像、チェーン符号化、可逆圧縮、細線化処理、順位予測、2 次元符号化

1996 年 2 月 1 日、テレビジョン学会画像情報システム研究会で発表

1996 年 5 月 8 日受付、1996 年 8 月 14 日再受付

[†] 東京理科大学 理工学部電気工学科 (〒278 野田市山崎 2641, TEL 0471-24-1501)

[†] Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo (2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278, Japan)

の線図形で描画されている。2画素幅の道路をチェーン符号化により効率良く記述するため、本方式では符号化に先立ち、道路部分に細線化処理³⁾を施す。この細線化処理の結果、図2(b)に示すように1画素幅の道路は消失し、主要な幹線道路が1画素幅の線図形として表される。一方、図2(b)に対して細線化処理の逆操作である復元処理³⁾を適用し(図2(c))、さらに原図形(図2(a))との残差成分を抽出すると、図2(d)のように主として1画素幅の道路からなる線図形が得られる。図2(c)は(b)から復元処理によって一意に求めることができ、また図2(c)と(d)を合成することで図2(a)が得られることから、図2(b)と(d)のみによって元の道路情報を完全に再構成することができる。図2(b)、(d)は共にほぼ1画素幅の線図形とみなせ、両者に対して下記のチェーン符号化を各々適用することにより、図2(a)のように線幅の異なる線図形を含む画像を効率良く可逆圧縮することが可能になる。なお、上記の細線化および復元処理は本研究において新たに開発したものであるが³⁾、その詳細については紙面の制約から別途報告することにする。

2.2 開始点の決定法

チェーン符号化は、線図形をその開始点の位置情報と、開始点からの連結状態(接続方向)を表す方向データ系列との組によって記述する手法である。本方式では、まず画面を左上よりラスト走査し、初めて出現した道路画素を開始点とする。ただし、初めて出現した道路画素Sの右および左下が共に道路画素である場合には、画素Sは明らかに連続する道路の途中の画素とみなせるので、さらに右方向に道路画素を追跡

し、その端点を開始点としている。このようにして決定された開始点に連結する道路画素の方向データ系列を後述の手順で符号化した後、符号化済みの道路画素を除いた上でラスト走査を再開し、同様の手法に従って次の開始点を決める。開始点の位置情報は、直前の開始点との距離をランレングス符号化することにより記述している。このため、開始点の表現には、他の道路画素と比較して多くのビット数(平均すると15ビット程度)を要するので、開始点の数は極力低減する必要がある。

2.3 方向データの生成

まず、開始点における道路画素の連結状態を調べ、道路画素の最初の接続方向を付加情報として出力する。例えば図3において開始点を●で表すと、この付加情報により道路画素○の位置が符号化される。次に、2番目以降の道路画素に関する連結状態を、直前の接続方向からの相対的な方向の変化を表す方向データの系列によって記述した後、この方向データ系列を後述する順位予測と2段階の変長符号化とを用いて符号化する。すなわち、2番目以降の各道路画素と方向データとは基本的に1対1に対応しているが、この方向データを1つずつ個別に符号化するのではなく、圧縮率を改善するために方向データ系列はまとめて符号化される。また、同様の理由から、本方式では道路画素の接続方向を、直進(図3の画素①)および左右45°前方(図3の画素②、③)の計3種類に制限し、方向データを構成するシンボル数を最小限に抑えている。したがって、通常のチェーン符号とは異なり、進行方向に対して90°以下の鋭角で連結する道路画素(図3の×)を直接追跡することはできないが、このような場合についても、2.4節で導入するシンボル‘Fork’に

図2 細線化処理と復元処理の例

Examples of thinning processing and restoration.
(a) Original drawing (roads part), (b) thinning processing,
(c) restoration, (d) residual components.

図3 道路部分の方向データ生成法

Production of directional data in the roads part.

(a) In the case of the vertical or horizontal directions,
(b) in the case of the oblique direction.

より対処可能であるため問題とはならない。

方向データの系列は以下のようにして生成される。まず、図3に示すように、1つ前および2つ前に符号化された画素を各々◎、●で表したとき、直前の接続方向(●から見た◎の方向)に一致する状態を、(a)と(b)およびこれらを各々90°, 180°, 270°回転させた計8通りの中から選択する。次に、画素①~③の中に道路画素が存在する場合には、小さい数字の画素を優先し、その番号(‘1’~‘3’)を方向データとして出力する。①~③のいずれにも道路画素が存在しない場合には、符号化ずみの道路画素等によって道路が分断されている状況にも対処するため、④~⑧の画素に関しても道路画素の探索を続行する。その結果、④~⑧の中に道路画素が存在する場合には、小さい数字の画素を優先し、図3に矢印で示した経路に従って(2通りの経路が選択可能な場合には画素①を経由するものを優先)‘1’~‘3’の方向データを2回出力する。ただし、この処理モードは、経路上の画素(①~③)が上書き可能な画素(同色でかつ符号化ずみの道路画素)であるときのみ実行される。例えば⑦が道路画素であっても、②が上書き可能な画素でなければ、この処理モードは実行されない。この例のように、④~⑧の中に道路画素は存在するが、いずれの経路も経由できない場合には、‘1’~‘3’の方向データは出力せず、その代わりに特殊なシンボル‘Jump’を出力する。さらに、‘Jump’の行き先(画素④~⑧の中の道路画素)を示す付加情報を符号化する。一方、①~⑧のいずれにも道路画素が存在しない場合には、方向データとして‘End’を出力し、次の開始点の探索に移行する。シンボル‘Jump’の導入により、分断された複数の道路を方向データ系列上では連続した1本の道路として扱うことが可能となり、開始点数を削減することができる。

2.4 分岐状態の表現

十字路や三叉路のように互いに交差したり、あるいは鋭角に接続する道路群を1つの方向データ系列で表現できれば、開始点数がさらに削減される。そこで本方式では、方向データとして新たに道路の分岐状態を表すシンボルを導入する。まず前処理として、図4に示す3×3画素のテンプレートおよびこれらの鏡像、さらには各々を90°, 180°, 270°回転させたパターンと、符号化対象となる道路画素とのマッチングを行い、同図に示すような分岐点(十字路および鋭角の接続点)を抽出する。次に、2.3節で述べた方向データの生成に際して、これらの分岐点に到達したなら、方向データ系列に新たなシンボル‘Fork’を挿入し、その座標をFIFOバッファに追加する。その後、方向デー

図4 テンプレートによる分岐点の抽出例
Extraction of forks using the templates.

タとして‘End’を出力したら、バッファから分岐点の座標を読み出し、その8近傍から道路画素の探索を再開する。ただし、図4のテンプレートからわかるように、本方式では5叉路以上の交差点は分岐点として抽出していない。このような複雑な交差点は生起頻度も低いため、この交差点を通過する道路は、2.3節までに述べた手法により複数の方向データ系列として扱われる。したがって、1つの分岐点に戻る回数は必ず1または2となり、分岐点毎にこの回数(1 bit)と分岐点直後の接続方向(3 bit)とを付加情報として別途符号化する。以上の手順をFIFOバッファが空になるまで繰り返し、次の開始点の探索に移行する。

2.5 順位予測の導入

実際の地図画像には直線状の道路が多く含まれるため、上記の処理により得られた方向データ系列中には、‘111’や‘2323’といった特定のパターンが頻繁に現れる。そこで、各方向データの発生確率順位を直前の N 個の方向データより予測し、その順位に従って新たなシンボルを割り当てる⁴⁾。すなわち、‘1’、‘2’、‘3’、‘Jump’、‘Fork’、‘End’の6種類からなる方向データ系列を、‘a’~‘f’からなる順位データ系列に変換することで、冗長度を削減し、符号化効率の改善を図る。なお本稿では予備実験により、 $N = 4$ と定めた。

2.6 順位データ系列の可変長符号化

順位データ系列では、原理的に各シンボルの生起頻度に大きな偏りがある。この性質を有効に活用するため、以下に示す2段階の可変長符号化を導入した。まず、順位データのうち、生起頻度が各々1番と2番の‘a’と‘b’を、いったん仮のシンボル‘A’に置き換え、‘A’の連続数(ランレングス)と、それに続くシンボル‘c’~‘f’とを組にして2次元可変長符号化する。次に、シンボル‘A’を元の‘a’と‘b’からなる系列に戻し、‘a’の連続数を別途可変長符号化する。

再生時には、まずこの2種類の可変長符号を各々復号することで、順位データ系列を得る。次に、順位予

図5 背景部分の方向データ生成法
Production of directional data in the backgrounds.

測の逆操作を実行し、'1'～'End'の6種類のシンボルから構成された方向データ系列を復元する。さらに、道路の色や開始点および分岐点に関する付加情報を参照しつつ、道路部分を再生する。

3. 背景部分の符号化

地図画像から道路部分として符号化された画素を取り除き、これらの画素を周囲の背景色で置き換えることにより、図1(c)に示すような背景部分を生成する。背景部分における各領域の境界線は画素間に存在すると考えられるため、図5に示す'1'～'3'の方向データを用いたチェーン符号化により、各領域の境界線を記述する。背景部分は単純な構造になる場合が多いため、方向データのシンボルとして'Jump'や'Fork'は使用しない。したがって、方向データは'1'、'2'、'3'、'End'の4種類となり、これらを順位予測によって'a'～'d'からなる順位データ系列に変換した後、2.6節と同様の手法により可変長符号化する。

復号の際には、開始点の位置情報および上記の方向データ系列と、別途符号化された各領域の色情報から背景部分を再生する。さらに、この背景部分に2章で述べた道路部分の復号結果を上書きすることにより、最終的な地図画像（原画像）を得る。

4. 特性評価

16色で表現された512×416画素の地図画像19枚を対象として、シミュレーションにより求めた本方式の符号化特性を表1に示す。順位予測に用いる変換表と2.6節の可変長符号は、道路部分と背景部分とで別々に設計したが、19枚の地図画像のいずれに対しても同一のものを使用した。また比較のため、地図画像を4(=log₂16)枚のビットプレーンに分解し、各々を独立にJBIG方式（シーケンシャルビルドアップ）により圧縮した結果も併せて示す。ただし、ビットプレーンの生成には多くの組合せが考えられるため、な

表1 符号化特性（19枚平均）
Coding performance.

方式	本方式			JBIG
	道路部分	背景部分	合計	
圧縮率 (%)	2.74	0.68	3.42	5.84

$$\text{圧縮率 (\%)} = \frac{\text{総符号化ビット数}}{4 \times 512 \times 416} \times 100 (\%)$$

るべく高い符号化効率を得られるように、実験的にこれを決定した。同表より、本方式はJBIG方式を大幅に上回る、優れた圧縮率を示すことが確認できる。

5. む す び

自動車用地図画像を高効率に可逆圧縮する方式を提案した。本方式では、地図画像を道路部分と背景部分とに分離し、各々に適したチェーン符号化を適用している。すなわち、道路部分では画素自体の連結状態を表す方向データを、背景部分では画素間に存在する領域境界の形状を表す方向データを符号化している。さらに、交差点や道路の直線性等の地図画像の性質を利用した種々の工夫を施すことにより、JBIG方式を上回る高い圧縮率を実現した。

【参 考 文 献】

- 1) 谷本：“自動車用カーナビゲーションシステム”，電学誌，**115**，7，pp.416-419（July 1995）
- 2) H. Freeman：“Computer Processing of Line-Drawing Images”，Comput. Surv.，**6**，5，pp.57-97（1974）
- 3) 宮本ほか：“自動車用地図画像の高効率可逆圧縮法”，テレビ学技報，**20**，4，VIS96-3，pp.15-20（Feb. 1996）
- 4) 水野：“中間調画像の予測順位符号化”，信学論（B），**J73-B-I**，6，pp.554-560（June 1990）

みやもと 剛 1994年，東京理科大学理工学部電気工学科卒業。1996年，同大学院修士課程修了。同年，郵政省通信総合研究所に入所。在学中は，画像の高効率符号化に関する研究に従事。正会員。

まつだ いちろう 1991年，東京理科大学理工学部電気工学科卒業。1996年，同大学院修士後期課程修了。現在，同大学理工学部電気工学科助手。画像の高効率符号化に関する研究に従事。1993年度テレビジョン学会鈴木記念賞受賞。博士（工学）。正会員。

いとう すすむ 1976年，東京大学工学部電子工学科卒業。1981年，東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻修士課程修了。同年より東京理科大学理工学部電気工学科に勤務し，現在，同助教教授。画像処理，画像符号化等の研究に従事。工学博士。正会員。