

2013年度 卒業論文

# 誘導音によるトレーシングシステム

2014年2月18日

大阪大学 基礎工学部  
システム科学科 生物工学コース  
瀧澤 洸

主査: \_\_\_\_\_ 日付: \_\_\_\_\_



# 誘導音によるトレーシングシステム

瀧澤 洸

## 概要

視覚障がい者は、聴覚や触覚といった視覚以外の感覚から日常生活に必要な情報を取得する。視覚障がい者のために、現代社会では信号機の音を用いた聴覚的な提示や、点字、点図などを用いた触覚的な提示によるバリアフリー化が進められている。更に、近年の電子情報デバイスの急速な発達と普及に応じ、視覚障がい者が利用可能な、情報端末のインタフェースが開発されている。

本論文では、主に視覚障がい者を対象として、地図理解のために必要な情報をタブレット端末から出力される誘導音によって提示するシステムについて述べる。本システムは、ユーザがタッチパネル式の画面に触れた際に、触れた地点の地図特徴を音情報で表現する。地図画像から抽出された輪郭線から、各画素に近接している輪郭線の向きと、輪郭線までの距離を記録する。ユーザが触れた画素に近接する輪郭線の向きを音階、ユーザが触れた画素から輪郭線までの距離を音量で表現する。また、本システムは、ユーザが画面上の経路をなぞることによって経路情報を理解することを補助するために、ユーザがなぞるべき経路を誘導音で提示する。画面上における経路の始点位置を音でユーザに伝え、ユーザが経路の始点近辺に触れると、ユーザが触れている地点で経路が延伸している方向を音階で表現する。

試作したシステムを用いて被験者実験を行った。被験者は、視覚的に地図と経路の情報を取得できない状態で、画面上の始点から終点までの経路をなぞった。実験の結果より、被験者がなぞった点から経路までの平均距離は  $1280 \times 800$  pixel の画像上において 38.7 pixel であり、提案システムを用いることでユーザが地図中の正しい道にそって経路をなぞることが可能になることを確認した。経路を構成する各線分が長い状況において、本システムの経路方向の提示に行えることが示された。

キーワード: 地図理解、タブレット端末、誘導音、輪郭線、経路

# Sound Aided Tracing System

Takizawa Hikaru

## Abstract

Visually impaired people acquire various information with an auditory and a haptic sense. Barrier-free signs, such as a sound device on a traffic signaling mechanism or a Braille on a map, are widely used in a modern society for the benefit of the visually impaired people.

This paper proposes a sound-aided tracing system for understanding a structure of an image with a touch screen and a guiding sound. The system represents a structural feature of a pixels where the user points on a touch screen with a sound. Contours are extracted from the image, and an orientation and a distance to the nearest contour are calculated in each pixel on the image. The orientation and the distance are represented with a sound pitch and a volume, respectively. The proposed system produces a route that the user traces, for example a route on a map, to assist the user in understanding the route. Firstly, a starting point on the route is indicated by the sound. Secondly, the system leads the way to the goal on the map image with the guiding sound. The orientations of the route are also represented with the sound pitch.

A prototype of the map guiding system has been implemented. Subjects traced the course from the starting point to the goal on the screen without viewing the screen. The experimental result with the prototype indicates that the average of distance between the points the subjects traced and the route was 38.7 pixel on the map whose size was 1280 × 800 pixel. It have demonstrated that the proposed system enabled subjects to trace the correct route on the map. Especially, the results have shown that the prototype is effective for the map which consists of the long line segments.

**Keywords:**Map understanding, Tablet terminator, Guiding sound, Contour line, Course



# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	非視覚的情報提示手法	3
2.1	言語情報の非視覚化手法	3
2.2	非言語情報の非視覚化手法	5
2.3	まとめ	6
第3章	図形理解補助トレーシングシステム	7
3.1	システム概要	7
3.2	地図情報および経路情報の取得	8
3.3	出力音の割り当て	16
第4章	システムの実装と結果	22
4.1	実装システムの構成	22
4.2	経路情報提示の評価実験	24
4.3	視覚障がい者からの評価	27
4.4	考察	27
第5章	おわりに	29
	謝辞	30
	参考文献	31

# 目次

1.1	タブレットの誘導音を用いた地図情報提示	2
2.1	アルファベットの点字	3
2.2	スクリーンリーダーの概要	4
2.3	DotView DV-2 点図ディスプレイ	5
2.4	点図で描画された地図	5
2.5	EdgeSonic の概要	6
3.1	システム概要	7
3.2	輪郭線抽出の概要	8
3.3	輪郭線抽出の過程	10
3.4	輪郭線の分類	11
3.5	輪郭線の番号	11
3.6	輪郭線の各点に記録された方向	11
3.7	経路画像	12
3.8	経路情報取得の過程	13
3.9	反時計回りの調査	14
3.10	縦横方向を優先した調査	14
3.11	経路の各点の分類	15
3.12	経路の各点の順番	15
3.13	経路の各点に記録された方向	15
3.14	経路開始点提示音を決定する画像	16
3.15	経路までの距離に関する画像 $\acute{D}$	18
3.16	画像 $\acute{D}$ を 4 値化した画像 $D$	18
3.17	各方向の経路の距離に関する画像	19
3.18	経路方向に関する画像 $N$	19
3.19	地図画像	20
3.20	輪郭線を描画した画像	20
3.21	各方向の輪郭線の距離に関する画像	21

4.1 システムの概観 . . . . .	22
4.2 実験風景その1 . . . . .	24
4.3 実験風景その2 . . . . .	24
4.4 提示する地図情報 . . . . .	25
4.5 提示する経路情報 . . . . .	25
4.6 2回目になぞった結果 . . . . .	25
4.7 なぞった点から経路までの距離 . . . . .	26
4.8 経路の分割と線分の番号 . . . . .	26



# 表 目 次

3.1	経路開始点の提示音 . . . . .	16
3.2	出力音の再生頻度 . . . . .	20
3.3	出力音の音階 . . . . .	20
4.1	機器の仕様 . . . . .	23
4.2	実験結果 . . . . .	27

# 第1章 はじめに

視覚障がい者に触覚や聴覚で情報を提示する様々な手段が考案されてきた。触覚を用いて情報を提示する代表的な手段として、点字や点図といった表面の凹凸を利用する方法がある。点字は1670年にイタリア人、フランチェスコ・ラナ・デ・テルツィが発明した。当初は暗闇でも解読可能な暗号文字として用いられることで発達したが、1825年にフランス人、ルイ・ブレイユが視覚障がい者用の文字として改良し、世界中に普及した。点図は、点字が普及した19世紀後半に盲学校での地理教育で使用された触地図が起源であり、現在でも駅や図書館などの公共施設の構造図として用いられている。一方、聴覚を用いて情報を提示する手段としては、音響装置付信号機が代表的である。音響装置付信号機は、交通信号器において歩行者用灯器が通行可能であることを視覚障がい者に知らせるために、スピーカから誘導音を鳴動させる装置である。誘導音は擬音が旋律であり、複数の方向に歩行者用灯器がある場合には、それぞれの歩行者灯器ごとに異なる誘導音が使用される。

近年の電子デバイスの急速な発展により、我々を取り巻く情報媒体は多様化した。情報を電子化することで伝達速度の向上、保存媒体の小型化、などの利便性向上が実現し、言語情報や画像情報が電子媒体の形で広く普及することとなった。情報の電子化に伴い、視覚障がい者が電子情報を取得する手段も発達した。電子媒体を用いて視覚障がい者に言語情報を伝える手段には、代表的なものとして、コンピュータのGUI (Graphical User Interface) で表示されている情報を読み上げるPC-Talker、スマートフォンやタブレット端末においてユーザが触れた部分の文章を読み上げるVoiceOverなどのソフトウェアがある [1]。視覚障がい者に言語情報を伝えることは、言語情報には本来的に音声を媒体とする側面があるために、情報の音声化によって解決する。一方で、電子媒体を用いて視覚障がい者に図形の形状といった非言語情報を伝えることは、形状と音の間に直接的な対応関係がないため、音によって表現することが困難である。図形の形状を電子デバイスを用いて視覚障がい者に伝える方法として、点図ディスプレイ [2] や点図プリンタ [3] などがある。これらの装置は、視覚障がい者が慣れている点図での図形理解が可能である利点を有している。一方、点図ディスプレイなどの提示方法を用いるための装置は大型であるため、スマートフォンやタブレット端末のように携帯することは想定されていない。図形の形状を認識して理解することが求められる場面の例として地図情報の理解がある。このような、地図から目的地までの情報を取得する作業において、情報媒体が携帯可能であり、現在位置や目的地の変化に応じて、媒体が表示する地域が可変であることは重要である。

本研究では、タブレット端末のように携帯可能なデバイスを用い、誘導音に従ってタッチパネルディスプレイをなぞることで、視覚障がい者が形状を理解することを補助するシステムを提案する。タッチパネルディスプレイをなぞることによる形状理解問題の一例として、地図情報の経路理解を目的としたアプリケーションを構築する。道路形状を伝えるために、まず、地図画像の輪郭線を抽出することによって道路形状を取得する。次に、各画素に対して、近接している輪郭線の向きと、輪郭線までの距離を記録する。ユーザがタッチパネルディスプレイ上で触れた画素の近傍に輪郭線がある場合に、輪郭線の向きをおうじて周波数が4種類に変化し、ペン先から輪郭線までの距離に応じて振幅が連続的に変化する純音を出力することで道路形状を提示する。さらに経路情報を伝えるために、経路の始点位置を音で提示し、ペン先が始点に触れると、終点までの経路を音で案内する。経路の始点位置は、ペン先から始点位置までの距離に応じて、再生頻度が5段階に変化するピアノ音を使用する。終点までの経路の案内は、ペン先に近接する地点で経路が延伸している方向に応じて音階が8種類に変化し、ペン先から経路までの距離に応じて再生頻度が3段階に変化する琴楽器音を使用する。

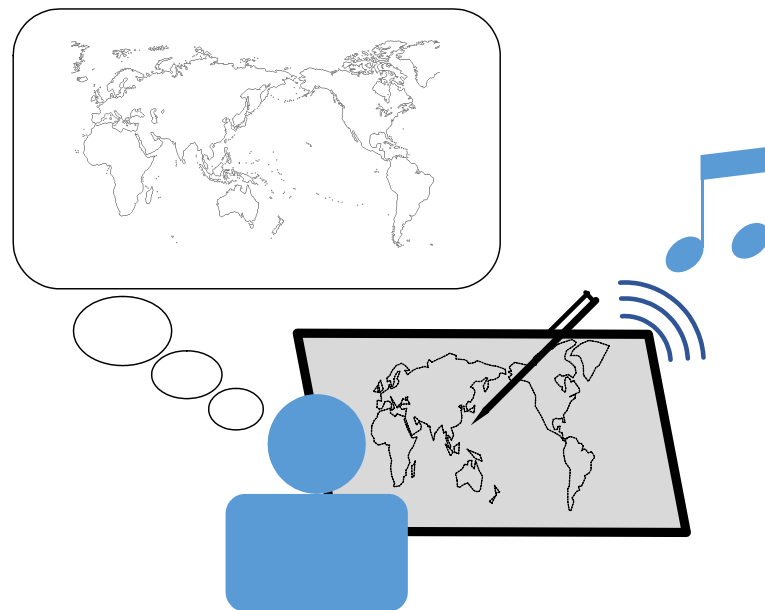


図 1.1: タブレットの誘導音を用いた地図情報提示

## 第2章 非視覚的情報提示手法

第1章で述べたように、視覚障がい者が電子情報媒体を用いて情報を取得する手法として、様々な手法が開発されている。これらの手法は、扱う情報が言語情報であるか、または非言語情報であるかに大別される。本章では2.1節で言語情報を扱う手法、2.2節で非言語情報を扱う手法について述べる。

### 2.1 言語情報の非視覚化手法

書籍中の文章や情報端末が表示する文字などの言語情報を非視覚情報として提示する手法は、触覚的手法と、聴覚的手法に大別される。

#### 2.1.1 言語情報を提示する触覚的手法

言語情報を提示する触覚的手法のうち、代表的なものとして点字がある。点字の方式のうち最も普及している Braille 方式は、1個の文字を3行2列の領域における突起点の配置パターンによって表現する。Braille 方式で表記されたアルファベットを点字を図2.1に示す。図では白丸が突起が無い点、黒丸が突起が有る点を表している。Braille 方式で表記されたアルファベットの点字では、AからJまでの文字が上2行だけに突起を持ち、KからT、UからZは上2行がそれぞれAからJと共通であり、下1行が異なる。ただし、Wはこの規則性を持たない。点字はアルファベットの他に数字、仮名文字、漢字を表現することも可能であり、漢字を表現する点字には4行2列の配置パターンを用いる方式も存在する。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
●○	●○	●●	●●	●○	●●	●●	●○	○●	○●
○○	●○	○○	○○	○○	●○	●●	●●	●○	●●
○○	○○	○○	○○	○○	○○	○○	○○	○○	○○
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
●○	●○	●●	●●	●○	●●	●●	●○	○●	○●
○○	●○	○○	○○	○○	●○	●●	●●	●○	●●
●○	●○	●○	●○	●○	●○	●○	●○	●○	●○
U	V	X	Y	Z					W
●○	●○	●●	●●	●○					○●
○○	●○	○○	○○	○○					●●
●○	●●	●●	●●	●●					○●

図 2.1: アルファベットの点字

### 2.1.2 言語情報を提示する聴覚的手法

言語情報は本来、視覚情報としての文字の側面だけでなく、音声情報としての発話の側面を持つ。そのため、文字として伝達された言語情報を情報端末が音読することにより、情報を非視覚化し、視覚障がい者に提供することが可能である。

情報端末が言語情報を音読するシステムをスクリーンリーダ [4] といい、言語情報を非視覚化する代表的な手法となっている。スクリーンリーダの概要を図 2.2 に示す。現在では、PC-Talker、VoiceOver などのスクリーンリーダが普及している。PC-Talker は、コンピュータの画面に表示されているウインドウ、タスクの読み上げ、カーソル位置にあるコンテンツの読み上げ、キー入力状態の読み上げなどを行う。VoiceOver は、スマートフォンやタブレット端末において、ユーザがタッチパネルに触れた位置にあるコンテンツを読み上げる。これらのスクリーンリーダによって、情報端末の画面から得られる視覚情報を用いずに情報端末を使用することが可能になる。しかし、これらのスクリーンリーダが提示可能な情報は、言語と直接関連付けられる視覚情報のみである。つまり、スクリーンリーダでは、情報端末が本来提示することが可能である地図情報や画像情報などの非言語情報を提示することが困難である。

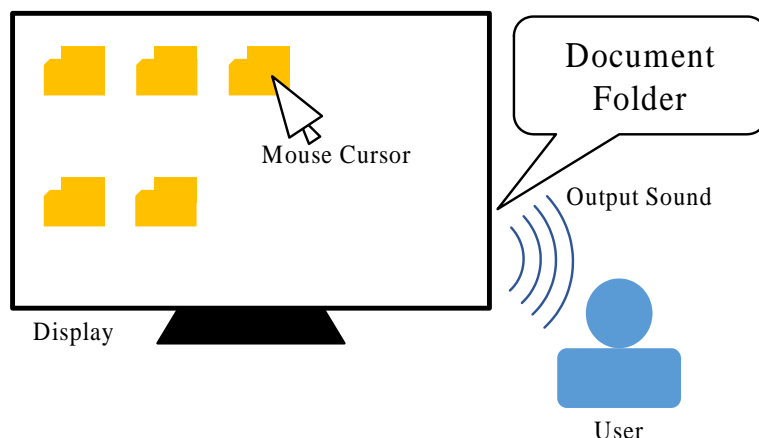


図 2.2: スクリーンリーダの概要

## 2.2 非言語情報の非視覚化手法

図形の形状などの非言語情報を非視覚情報として提示する手法も、言語情報の非視覚化と同様に、触覚的手法と、聴覚的手法に大別される。

### 2.2.1 非言語情報を提示する触覚的手法

触覚を用いて図形の形状といった非言語情報を提示する代表的な手法として、点図ディスプレイが挙げられる。KGS 社製の点図ディスプレイである DotView DV-2 は縦 32 本、横 48 本のピンが各 2.4 mm 間隔で格子状に配置されたものである。DotView DV-2 の概観を図 2.3 に示す。コンピュータから二値化画像の情報を USB (Universal Serial Bus) を介して受信し、各画素の白黒を、各ピンが突出しているか否かによって表現する。この装置は一般的に用いられる点図を提示でき、また動的に提示する情報を変化させることができる。一方で、装置の重量が約 1.5 kg あり、使用する際には外部電源に接続する必要があるため、携帯して使用することは想定されていない。

点図プリンタはコンピュータから受信した二値化画像の情報を、用紙表面に点状の凹凸を作ることによって表現するものである。点図プリンタで印刷可能な、点図で描画された地図を図 2.4 に示す。多くの点図プリンタは点字にも対応しており、図形と文字の両方を含む情報を表現することに適している。装置は通常のプリンタ同様に携帯することは想定されておらず、LENTEK 社製の点図プリンタ TEN-100 の重量は 7 kg である。以上のように、触覚的手法による非言語情報の提示は、装置が大型で携帯に適していない。点図プリンタを用いて作成した点図用紙は携帯可能であるが、点図用紙は電子情報端末のように提示する情報を変化させることが出来ない。



図 2.3: DotView DV-2 点図ディスプレイ [2]

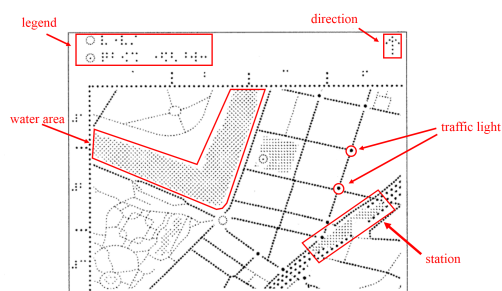


図 2.4: 点図で描画された地図 [5]

## 2.2.2 非言語情報を提示する聴覚的手法

画像の形状を音で表現するシステムである EdgeSonic [6] は、使用する画像からエッジを検出し、ユーザが触れた位置からエッジまでの距離に対応した頻度のパルス音を再生する。EdgeSonic の概要を図 2.5 に示す。

折れ線グラフを音で表現する研究 [7] では、折れ線グラフの各点の値を 128 段階の音階に変換し、グラフの各点の値に対応した音階の出力音を合成して順番に再生する。

以上に挙げた従来の聴覚的手法は、エッジまでの距離や、折れ線グラフの数値の大小などの自由度が低い情報しか提示できないため、地図情報のような複雑な図形情報の提示が困難である。

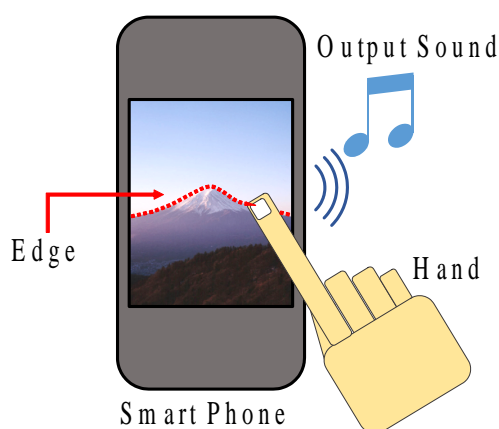


図 2.5: EdgeSonic の概要 [6]

## 2.3 まとめ

本節では、視覚障がい者が電子情報媒体で情報を取得するための従来手法について述べた。図形の形状といった非言語情報を触覚的手法によって提示する点図ディスプレイや点図プリンタでは、装置が大型で携帯することが困難であるため、ユーザが移動中に情報を取得することが想定される地図情報の提示には適していない。また、非言語情報を提示する従来の聴覚的手法では、地図の複雑な形状や、地図上に描かれた経路を提示することが困難である。近年の携帯可能な電子情報媒体の多くには、タッチパネルディスプレイとスピーカが装備されているため、画面をなぞるといった触覚的手法と、誘導音を提示するという聴覚的手法を複合させた情報提示が可能である。この情報提示手法は、地図の形状や経路といった複雑な図形情報を提示可能であると考えられる。本研究では、タブレット端末のタッチパネルディスプレイと音を用いることで、ユーザが携帯可能な図形理解補助システムを提案する。

## 第3章 図形理解補助トレーシングシステム

本章では、本研究で提案する図形理解補助トレーシングシステムについて述べる。3.1節でシステムの概要を示し、3.2節で画像処理による特徴抽出について述べ、3.3節では出力音のマッピングについて述べる。

### 3.1 システム概要

システムの概要を図 3.1 に示す。タッチパネルディスプレイ上に地図情報を表示し、ユーザはタッチペンを用いてタッチパネルに触れる。まず、ペン先から経路の開始地点までの距離を音で表現し、ペン先を開始地点に誘導する。次に、ペン先に近接する地図の道路形状と、近接する経路の方向をタブレットからの出力音によってユーザに伝える。ユーザが開始地点から目的地点までの経路をなぞることで、通行すべき経路と周辺の道路形状をユーザに伝える。

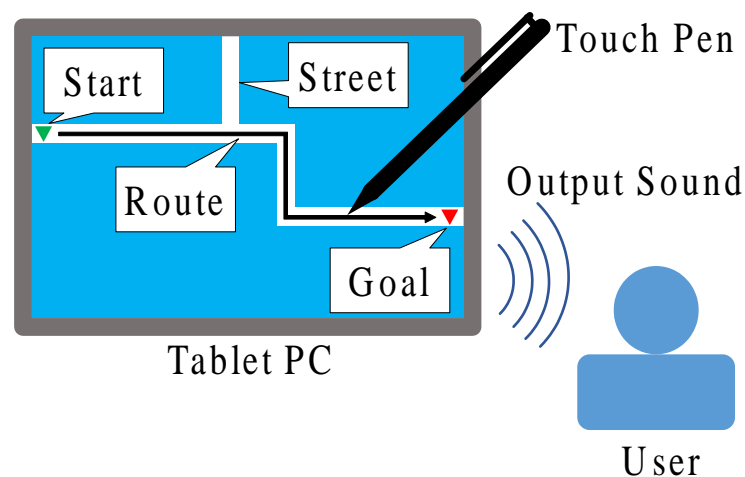


図 3.1: システム概要



## 3.2 地図情報および経路情報の取得

本節では、ユーザに伝える地図と経路の情報を取得する手法について説明する。地図情報は、任意の地図画像を輪郭線抽出することで取得する。経路情報は、開始地点と目的地点と、これらの2点間を地図上の道路に沿って結ぶ経路が描かれた経路画像を走査することで取得する。

### 3.2.1 地図情報の取得

地図情報は地図画像を輪郭線抽出することで取得する。輪郭線抽出の概要を図3.2に示す。輪郭線は二値画像における白色領域と黒色領域の境界線と定義する。提案手法ではカラー画像から輪郭線を抽出する際に、グレースケール変換、二値化を先に行う。

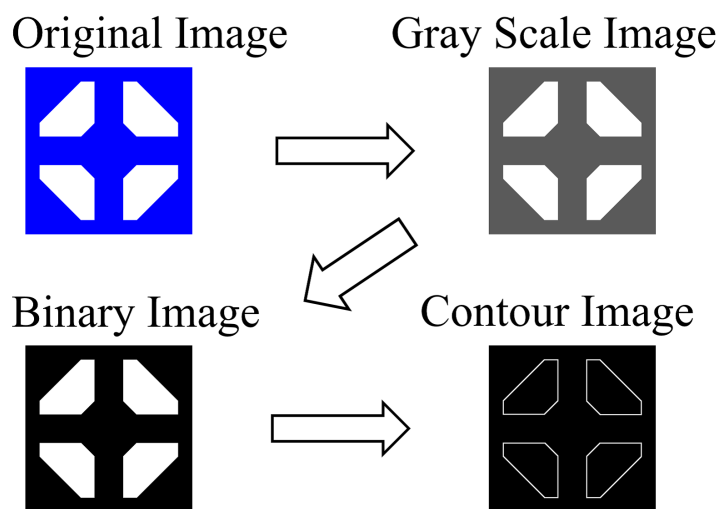


図 3.2: 輪郭線抽出の概要

#### グレースケール変換

グレースケール変換はカラー画像の各画素の赤、青、緑の三次元の画素値を、濃淡画像の1次元の画素値に変換する処理である。カラー画像の座標  $(x, y)$  における赤、青、緑の画素値  $R(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 、 $G(x, y)$  からグレースケール変換後の画像の同座標における画素値  $L_1(x, y)$  を導出する過程を式 (3.1) に示す。

$$L_1(x, y) = \frac{R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)}{3} \quad (3.1)$$

## 二値化

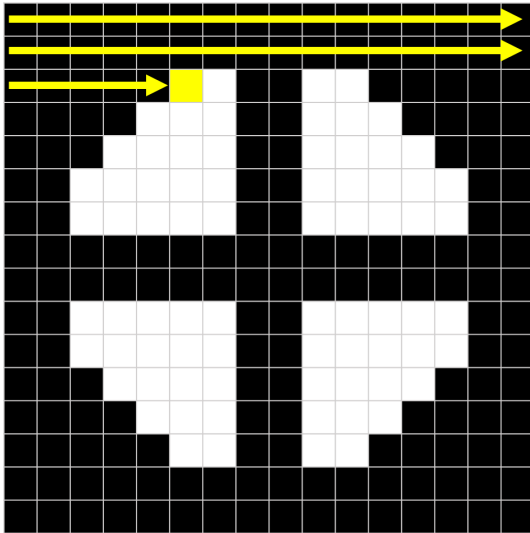
二値化とは、グレースケール画像の各画素の画素値が閾値より大きいか否かを判別し、大きい場合と小さい場合対して異なる特定の値をその画素に代入する処理である。グレースケール画像の座標  $(x, y)$  における画素値を  $L_1(x, y)$ 、二値化に用いる閾値を  $\gamma$ 、明度が閾値より大きい場合に代入する値を  $\alpha$ 、小さい場合に代入する値を  $\beta$  と定めたときの、同座標における二値化画像の画素値  $L_2(x, y)$  を式 (3.2) に示す。

$$L_2(x, y) = \begin{cases} \alpha & (L_1(x, y) > \gamma) \\ \beta & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3.2)$$

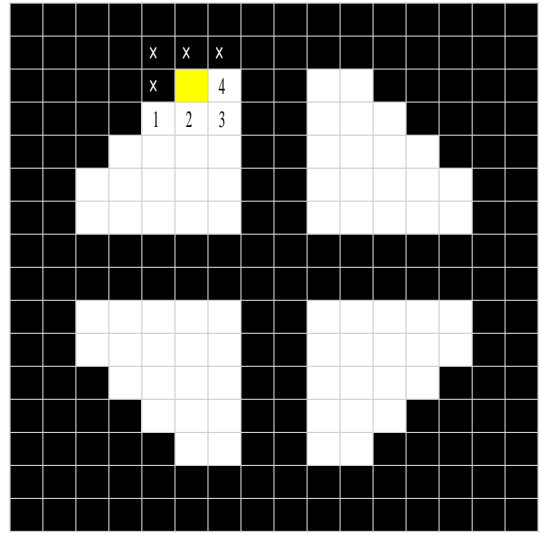
## 輪郭線抽出

輪郭線抽出は、二値化画像における白色領域と黒色領域の境界となる線の抽出を行う。その手順は以下の通りである [8]。また、輪郭線抽出の過程を図 3.3 に示す。

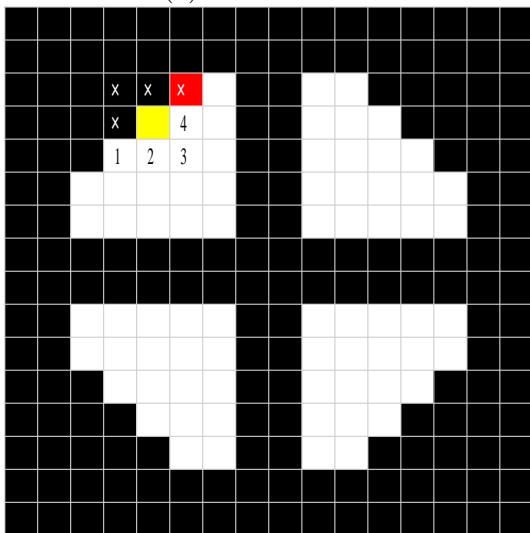
- (a) 二値化画像を左端から右端まで走査することを上端から下端まで繰り返し、画素値が変化する点を追跡開始点とする。
- (b) 追跡開始点を中心とした 8 近傍の画素を、調査済みの画素を除いて反時計回りに調べる。追跡開始点と同じ画素値の点を発見した場合、その点を次の追跡点とする。
- (c) 追跡点を中心とした 8 近傍から (b) と同様にして次の追跡点を探すことを繰り返す。
- (d) 追跡点が追跡開始点に一致した場合、追跡を終了する。
- (e) 他の輪郭線を探すため、輪郭線の右上端から追跡開始点の走査を再度行い、(b) から (d) を繰り返す。



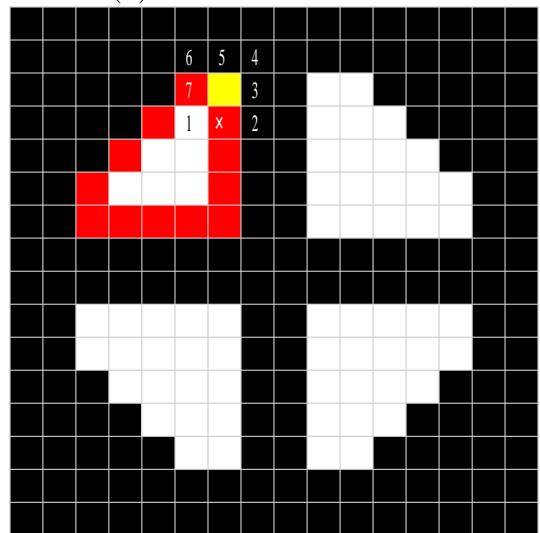
(a) 輪郭線の探索



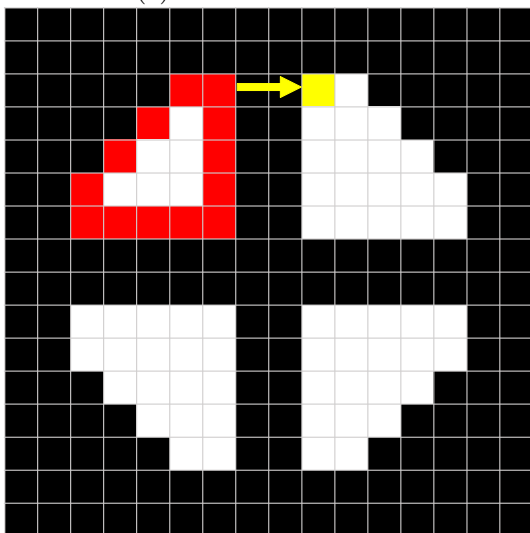
(b) 追跡開始点近傍の調査



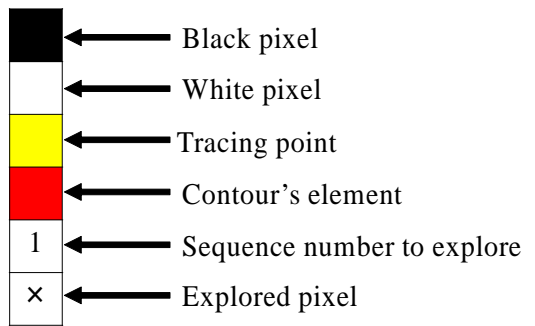
(c) 追跡点近傍の調査



(d) 追跡の終了



(e) 他の輪郭線の探索



(f) 凡例

図 3.3: 輪郭線抽出の過程

上記の手順で抽出された輪郭線を構成する各点の座標は、図 3.5 に示すように開始点から追跡した順番で記録される。輪郭線を構成するそれぞれの点に対して、次順に記録されている点との位置関係を調べ、図 3.4 に示すように上下隣接 (a)、右上-左下隣接 (b)、左右隣接 (c)、左上-右下隣接 (d) の 4 種類に分類し、記録する。分類の結果、図 3.6 に示すように輪郭線を構成する各点に方向が記録される。

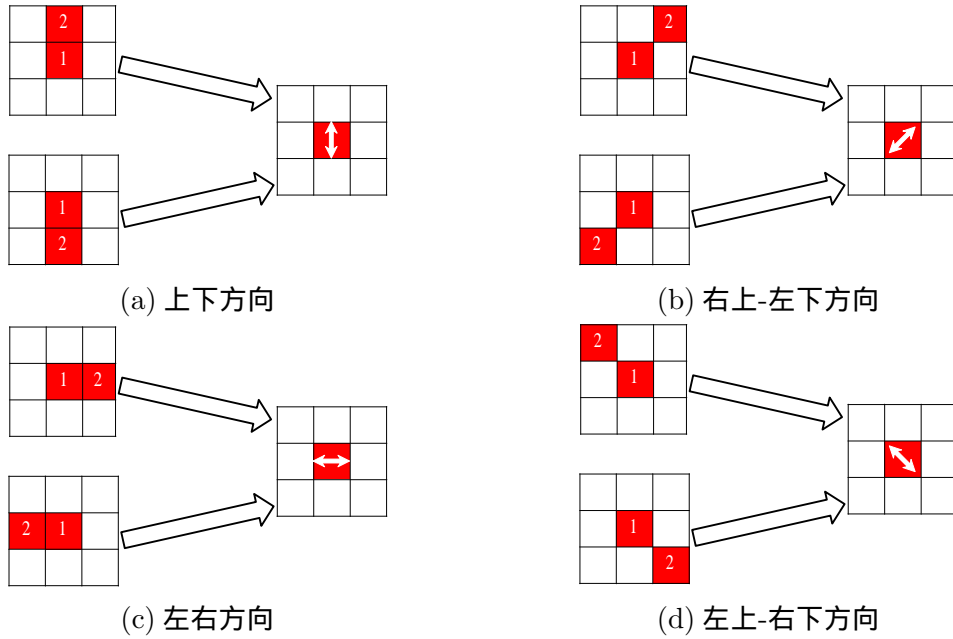


図 3.4: 輪郭線の分類

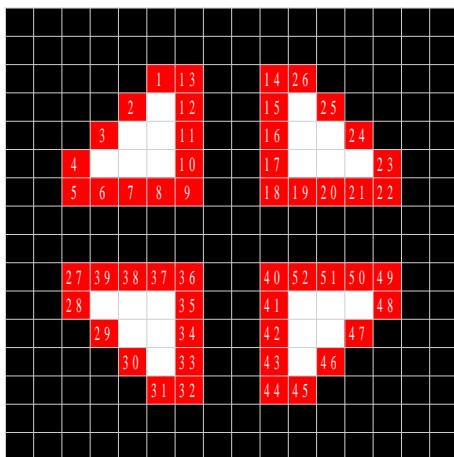


図 3.5: 輪郭線の番号

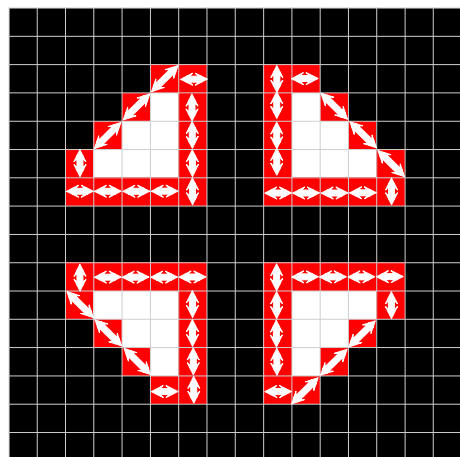


図 3.6: 輪郭線の各点に記録された方向

### 3.2.2 経路情報の取得

本システムでは地図上の開始地点から目的地点までの経路を、開始地点と目的地点と、これらの2点間を地図上の道路に沿って結ぶ経路が描かれた、経路画像から取得する。図3.7に簡単な経路画像の例を示す。経路画像はカラー画像で、背景は白色領域、経路は幅1画素の黒線、開始地点は緑色の点、目的地点は赤色の点で示されている。

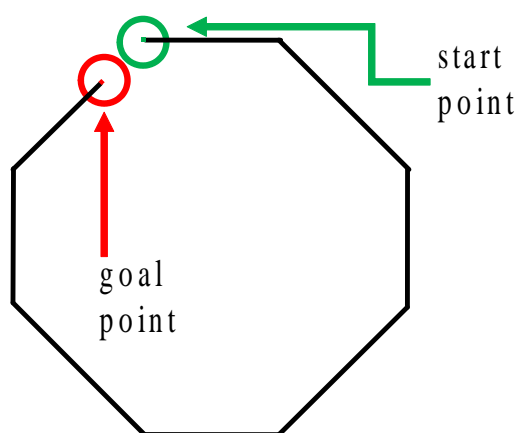
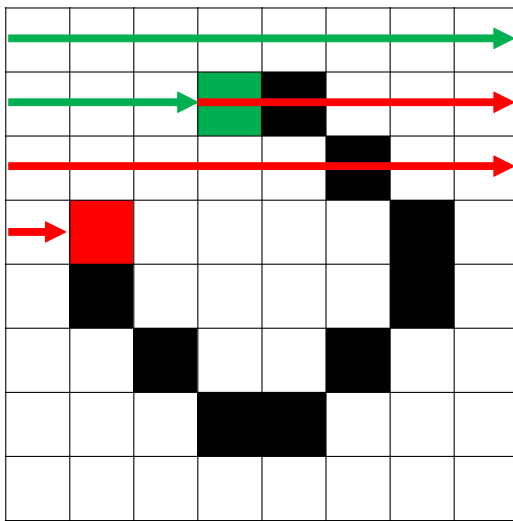


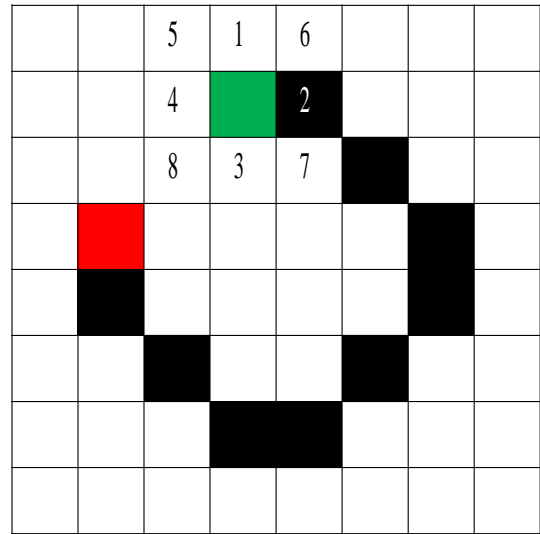
図 3.7: 経路画像

経路画像から経路情報を取得する手順は以下の通りである。また、経路情報取得の過程を図3.8に示す。

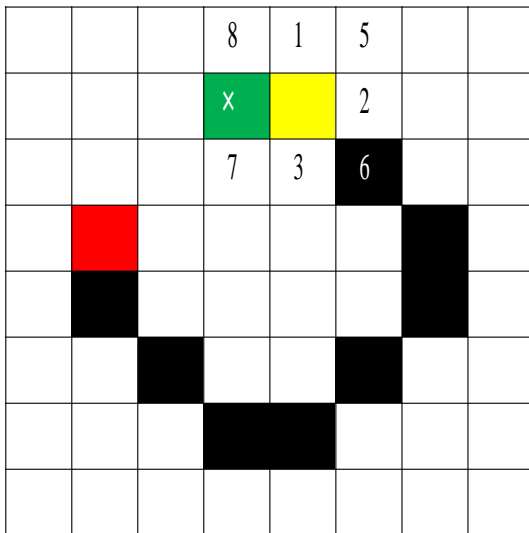
- (a) 経路画像を左上から右下に向かって走査し、画素値が緑色の点と赤色の点の位置をそれぞれ開始地点、目的地点として記録する。
- (b) 開始地点を中心とした8近傍の画素を調べる。黒色の点を発見した場合、その点を次の追跡点とする。
- (c) 追跡点を中心とした8近傍から (b) と同様にして次の追跡点を探すことを繰り返す。
- (d) 追跡点の8近傍に目的地点がある場合、追跡を終了する。



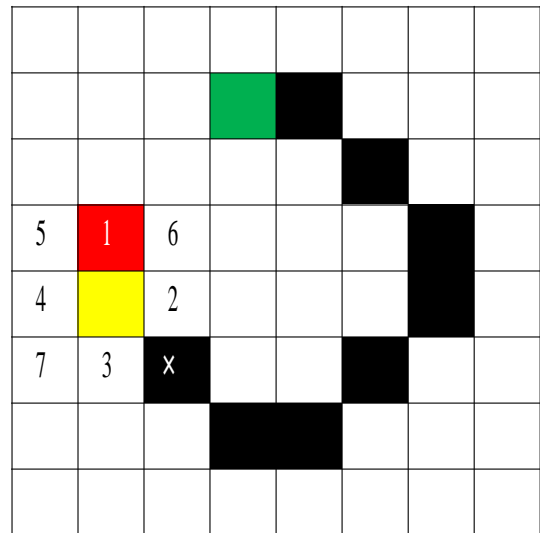
(a) 開始地点と目的地点の探索



(b) 開始地点近傍の調査



(c) 追跡点近傍の調査



(d) 追跡の終了

図 3.8: 経路情報取得の過程

図 3.8(b)、(c) に示すように追跡点近傍の調査は縦横方向を斜め方向より優先して行う。これは、垂直に経路方向が変化する箇所での追跡点近傍の調査において、反時計回りの調査は図 3.9 に示すように次の追跡点の発見を失敗するが、縦横方向を斜め方向より優先する調査では図 3.10 に示すように次の追跡点の発見に成功するからである。

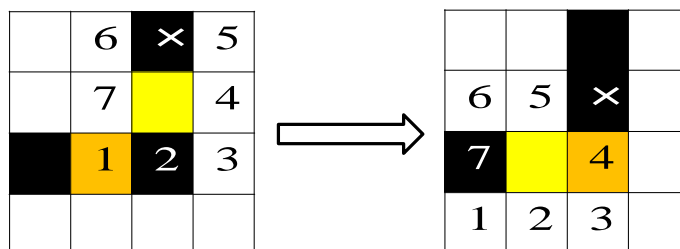


図 3.9: 反時計回りの調査

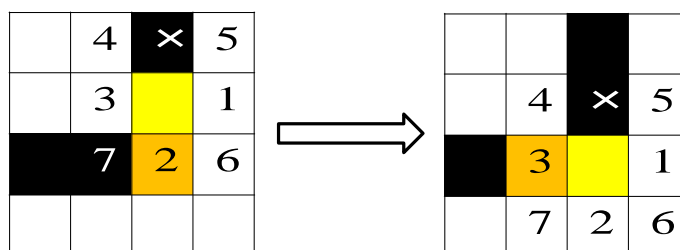


図 3.10: 縦横方向を優先した調査

上記の手順で抽出された経路を構成する各点の座標は、図 3.12 に示すように開始地点から目的地点まで順番で記録される。経路を構成するそれぞれの点に対して、次順に記録されている点との位置関係を調べ、図 3.11 に示すように、位置関係を右 (a)、左 (b)、上 (c)、下 (d)、右上 (e)、右下 (f)、左上 (g)、左下 (h) の 8 種類に分類して記録する。分類の結果、図 3.13 に示すように経路を構成する各点に方向が記録される。

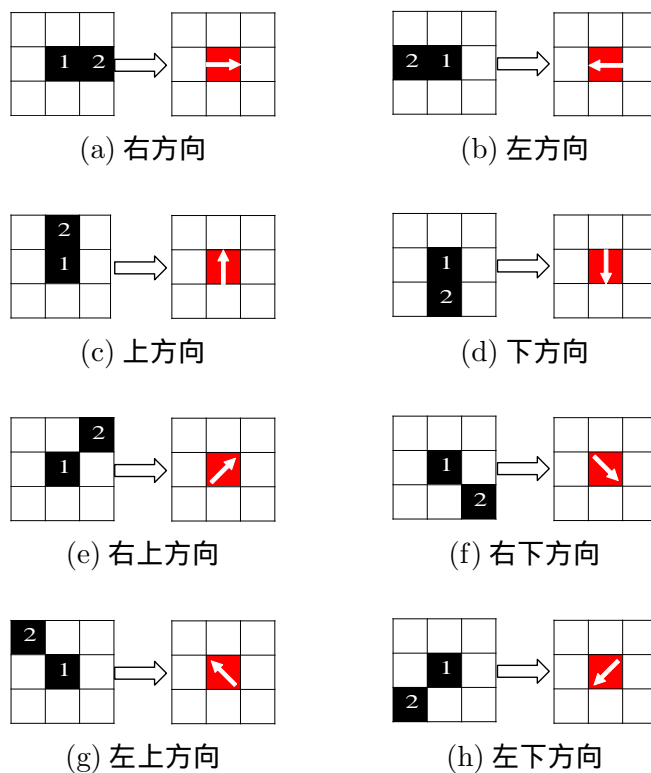


図 3.11: 経路の各点の分類

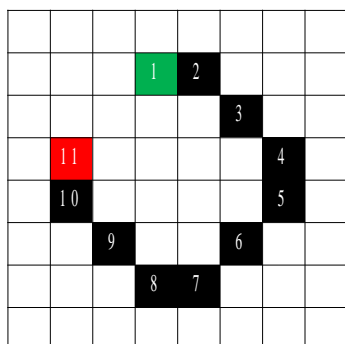


図 3.12: 経路の各点の順番

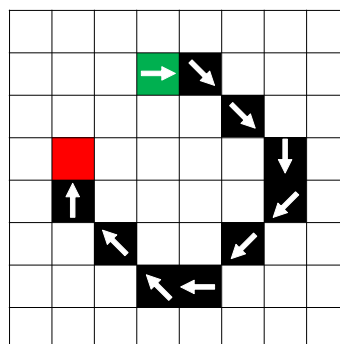


図 3.13: 経路の各点に記録された方向



### 3.3 出力音の割り当て

本節では、前述した手法によって抽出した地図画像の特徴と経路情報を表現する出力音を、各画素に対して割り当てる手法について述べる。

#### 3.3.1 経路開始点を表現する出力音

ペン先から経路開始点までの距離を提示する出力音として、音階がC5で頻度が異なるピアノ音を用いる。画像上の全ての座標について、経路開始点までの距離  $r$  を計算し、 $r$  の大きさによって各座標を7段階に分類する。分類の際に用いる境界値を、値が大きいものから  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$ 、 $a_6$  とする。タッチペンがタッチパネルディスプレイに触れた際に提示するピアノ音の頻度を表 3.3.1 に示す。ペン先の座標が、経路開始点までの距離が  $r < a_6$  となる座標であれば、経路開始点を表現する出力音の再生を終了し、目的地までの経路と地図画像の特徴を表現する出力音の再生を開始する。

表 3.1: 経路開始点の提示音

経路開始点までの距離	出力音の1秒あたりの再生頻度
$r < a_6$	無音
$a_6 \leq r < a_5$	64分音符で16回
$a_5 \leq r < a_4$	32分音符で8回
$a_4 \leq r < a_3$	16分音符で4回
$a_3 \leq r < a_2$	8分音符で2回
$a_2 \leq r < a_1$	4分音符で1回
$a_1 \leq r$	無音

第 3.2.2 項の図 3.7 に示した経路画像の経路開始点から  $r$  を求め、境界値を  $a_1 = 44$ ,  $a_2 = 36$ ,  $a_3 = 28$ ,  $a_4 = 20$ ,  $a_5 = 12$ ,  $a_6 = 4$  として各座標を分類した際の画像を図 3.14 に示す。

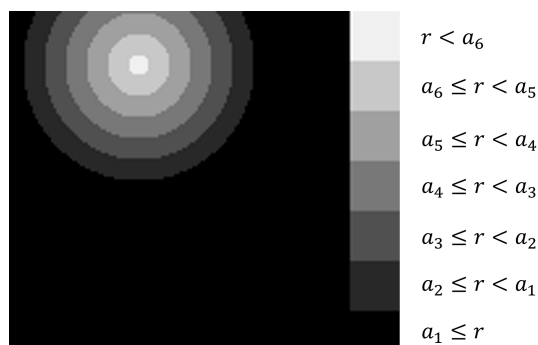


図 3.14: 経路開始点提示音を決定する画像

### 3.3.2 目的地までの経路を表現する出力音

地図上における経路を表現するために、ペン先の座標に近接している経路が延伸している方向と、経路までの距離に対応した出力音を選択する。出力音の選択のために、各座標に近接している経路が延伸する方向を記録した8値画像と、各座標から近接している経路までの距離を記録した4値画像を作成する。方向を記録した8値画像と、距離を記録した4値画像を作成する手順を以下に示す。

#### 経路までの距離の算出

経路を構成する点の個数を  $n$  とおく。経路を構成する各点  $P_i = (x_i, y_i)$  ( $i = 0, 1, \dots, n-1$ ) について、画像上の任意の点  $(x, y)$  から点  $P_i$  までの距離  $d_{i,x,y}$  を算出する。 $d_{i,x,y}$  を式 (3.3) に示す。

$$d_{i,x,y} = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3.3)$$

#### 経路までの距離の記録

経路までの距離を連続的に記録した画像を  $\acute{D}$ 、 $\acute{D}$  を4値化した画像を  $D$  とする。画像  $\acute{D}$  の座標  $(x, y)$  における画素値に  $d_{i,x,y} + \eta$  の逆数の  $\lambda$  倍を加算し、経路を構成する全ての点について同様に行う。 $\eta, \lambda$  は定数であり、 $\acute{D}$  の画素値の大きさと勾配を決定する。計算後に得られる画像  $\acute{D}$  の座標  $(x, y)$  における画素値  $\acute{D}(x, y)$  を式 (3.4) に示す。

$$\acute{D}(x, y) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\lambda}{d_{i,x,y} + \eta} = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\lambda}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + \eta} \quad (3.4)$$

画像  $\acute{D}$  の座標  $(x, y)$  における画素値  $\acute{D}(x, y)$  を式 (3.5) に示す方法で4値化し、画像  $D$  の同座標における画素値  $D(x, y)$  を決定する。画像  $\acute{D}$  を図 3.15 に示す。画像  $D$  を画素値が0である座標を黒色、1である座標を青色、2である座標を緑色、3である座標を赤色で着色した画像を図 3.16 に示す。

$$D(x, y) = \begin{cases} 0 & (\acute{D}_r(x, y) = 0) \\ 1 & (0 < \acute{D}_r(x, y) < 100) \\ 2 & (100 \leq \acute{D}_r(x, y) < 200) \\ 3 & (200 \leq \acute{D}_r(x, y)) \end{cases} \quad (3.5)$$

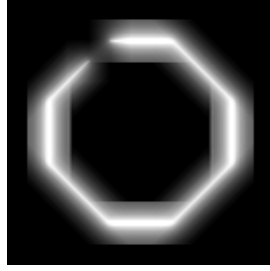


図 3.15: 経路までの距離に関する画像  $\acute{D}$

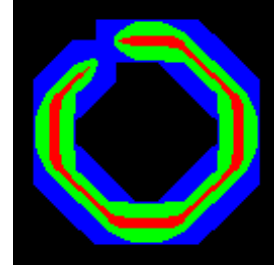


図 3.16: 画像  $\acute{D}$  を 4 値化した画像  $D$

### 経路の方向の記録

経路を構成する各点  $P_i$  の方向を表すパラメータを  $q_i$  とおき、点  $P_i$  での経路の方向が上方向なら  $q_i = 0$ 、右上方向なら  $q_i = 1$ 、右方向なら  $q_i = 2$ 、右下方向なら  $q_i = 3$ 、下方向なら  $q_i = 4$ 、左下方向なら  $q_i = 5$ 、左方向なら  $q_i = 6$ 、左上方向なら  $q_i = 7$  とする。 $d_{i,x,y}$  を  $q_i$  で分類し、 $q_i = k$  となる画像  $\acute{N}_k$  の座標  $(x, y)$  の画素値に  $d_{i,x,y} + \eta$  の逆数の  $\lambda$  倍を加算し、経路を構成する全ての点  $P_i$  について同様に行う。計算後に得られる画像  $\acute{N}_k$  の座標  $(x, y)$  における画素値  $\acute{N}_k(x, y)$  を式 (3.6) に示し、画像  $\acute{N}_0 \sim \acute{N}_7$  を図 3.17(a) ~ (h) に示す。

$$\acute{N}_k(x, y) = \sum_{i \in (q_i=k)} \frac{\lambda}{d_{i,x,y} + \eta} = \sum_{i \in (q_i=k)} \frac{\lambda}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + \eta} \quad (3.6)$$

各座標に近接している経路が延伸する方向を記録した 8 値画像を  $N$  とし、 $\acute{N}_0 \sim \acute{N}_7$  の画素値に基づいて  $N$  の画素値を決定する。全ての座標で画素値  $\acute{N}_k(x, y)$  を  $k$  について比較し、 $\acute{N}_k(x, y)$  が最大となる  $k$  を  $N(x, y)$  に代入する。 $N$  の画素値が 0 である座標を赤色、1 である座標を橙色、2 である座標を黄色、3 である座標を黄緑色、4 である座標を緑色、5 である座標をシアン、6 である座標を青色、7 である座標をマゼンタで着色した画像を図 3.18 に示す。

### 出力音の選択

ペン先の近傍に経路線が存在する際に出力する琴楽器音の再生頻度と音階を、画像  $D$ 、 $N$  の画素値に基づいて選択する。画像  $D$  の画素値と出力音の再生頻度の対応関係を表 3.2 に、画像  $N$  の画素値と出力音の音階の対応関係を表 3.3 に示す。

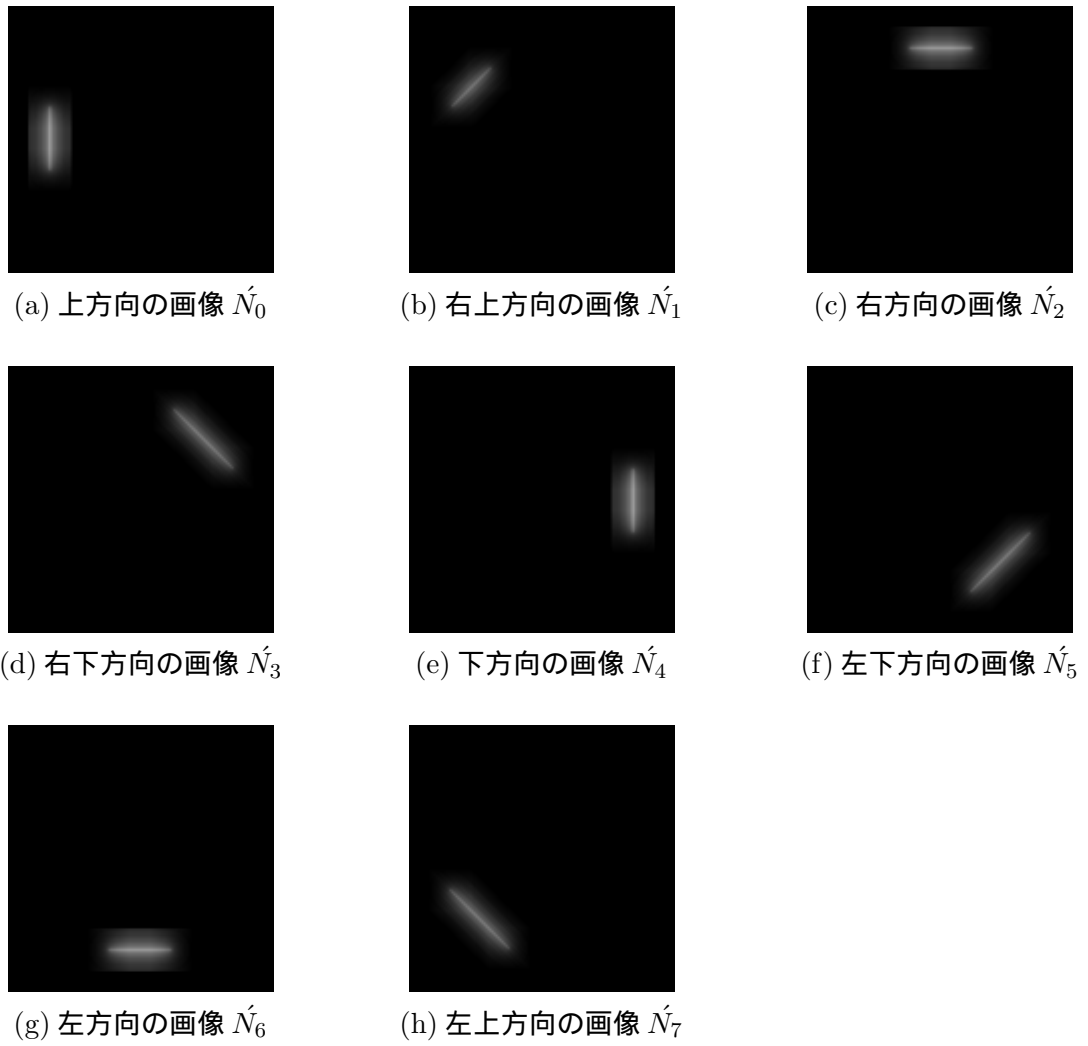


図 3.17: 各方向の経路の距離に関する画像



図 3.18: 経路方向に関する画像  $N$

表 3.2: 出力音の再生頻度

画像 $\dot{D}$ の画素値	画像 $D$ の画素値	1 秒間の再生回数
$\dot{D}_r(x, y) = 0$	0	無音
$0 < \dot{D}_r(x, y) < 100$	1	4 分音符 1 回
$100 \leq \dot{D}_r(x, y) < 200$	2	8 分音符 2 回
$200 \leq \dot{D}_r(x, y)$	3	16 分音符 4 回

表 3.3: 出力音の音階

提示する経路方向	画像 $N$ の画素値	音階
上方向	0	C5
右上方向	1	E5
右方向	2	F5
右下方向	3	G5
下方向	4	C6
左下方向	5	E6
左方向	6	F6
左上方向	7	G6

### 3.3.3 地図情報を表現する出力音

地図情報を表現する出力音には、純音を用いる。周波数の違いによってペン先に近接した輪郭線の方向を表現し、音量によってペン先から輪郭線までの距離を表現する。本節で例として使用する画像を図 3.19 に、この画像から得られた輪郭線を描画した画像を図 3.20 に示す。4 種類の純音の振幅を各座標に記録する手順を以下に示す。

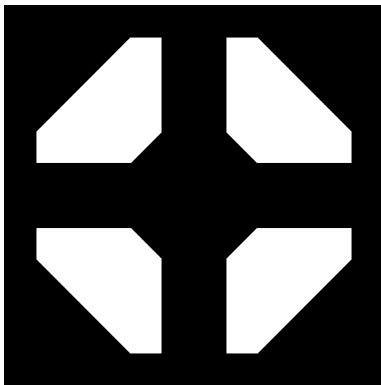


図 3.19: 地図画像

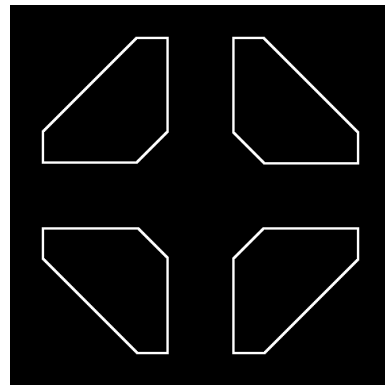
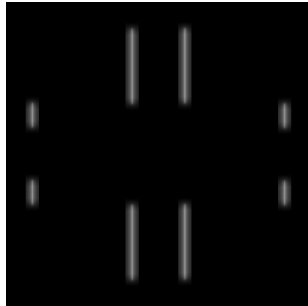


図 3.20: 輪郭線を描画した画像

### 輪郭線までの距離の記録

4種類の純音の音量を記録する4枚の画像  $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  を作成し、全ての画素値を0で初期化する。輪郭線を構成する点の個数を  $m$  とおく。3.3.2節の経路までの距離の記録と同様にして、輪郭線を構成する各点  $Q_j = (x_j, y_j)$  ( $j = 0, 1, \dots, m-1$ ) について、画像上の任意の点  $(x, y)$  から点  $Q_j$  までの距離  $f_{j,x,y}$  を計算し、 $f_{j,x,y} + \mu$  の逆数の  $\nu$  倍を  $Q_j$  での輪郭線の方に基づいて別々の画像に加算する。点  $Q_j$  における輪郭線の方を表すパラメータを  $s_j$  とおき、点  $Q_j$  において輪郭線の方角が上下方向であれば  $s_j = 0$ 、右上-左下方向であれば  $s_j = 1$ 、左右方向であれば  $s_j = 2$ 、左上-右下方向であれば  $s_j = 3$  とする。点  $Q_j$  において輪郭線の方角が上下方向であれば  $M_0$ 、右上-左下方向であれば  $M_1$ 、左右方向であれば  $M_2$ 、左上-右下方向であれば  $M_3$  の座標  $(x, y)$  における画素値に、 $f_{j,x,y} + \mu$  の逆数の  $\nu$  倍を加算する。この計算を輪郭線を構成するすべての点  $Q_j$  について行う。画像  $M_l$  ( $l = 0, 1, 2, 3$ ) の座標  $(x, y)$  における画素値  $M_l(x, y)$  を式 (3.7) に示す。画像  $M_0 \sim M_3$  を図 3.21(a) ~ (d) に示す。

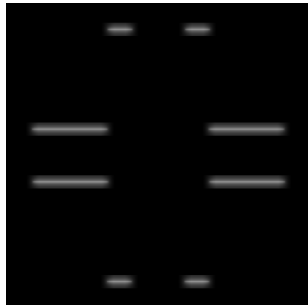
$$M_l(x, y) = \sum_{j \in (s_j=l)} \frac{\nu}{f_{j,x,y} + \mu} = \sum_{j \in (s_j=l)} \frac{\nu}{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} + \mu} \quad (3.7)$$



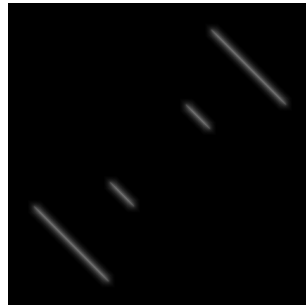
(a) 上下方向の画像  $M_0$



(b) 右上-左下方向の距離画像  $M_1$



(c) 左右方向の画像  $M_2$



(d) 左上-右下方向の画像  $M_3$

図 3.21: 各方向の輪郭線の距離に関する画像

## 第4章 システムの実装と結果

本章では、提案システムを実装した結果と、実装したシステムを用いて被験者実験を行った結果について述べる。被験者実験は、目隠しをした健常者と、視覚障がい者を対象に行った。健常者を対象とした実験の結果より、提案システムの経路情報の提示が妥当であるかを定量評価した。視覚障がい者を対象とした実験では、提案システムを使用した感想と意見を調査した。

### 4.1 実装システムの構成

本研究では、図形理解のために必要な情報をタブレット端末の出力音によって提示するシステムを実装した。システムの概観を図 4.1 に示す。また本研究で用いた機器の仕様を表 4.1 に示す。

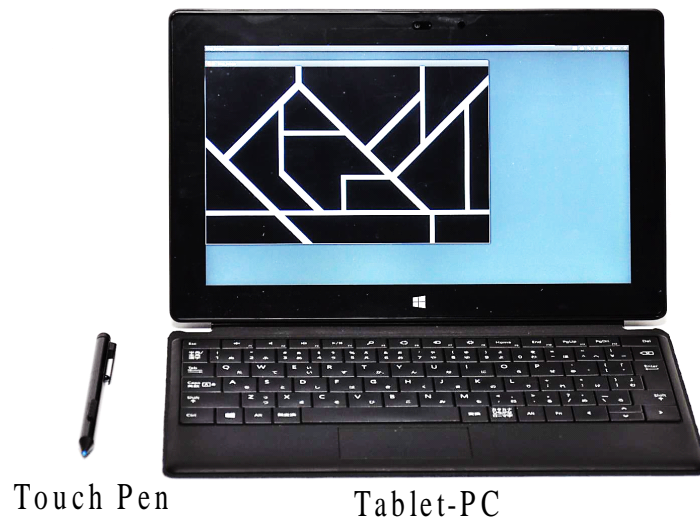


図 4.1: システムの概観

表 4.1: 機器の仕様

項目	性能
CPU	Intel Core i5-3317U 1.7 GHz
Memory	4.0 GB
タッチペン	電磁誘導方式

#### 4.1.1 経路開始点表現の距離境界値

画像上の各座標について、経路開始点までの距離によって分類を行う際の境界値  $a_1$  から  $a_6$  を決定した。地図画像および、経路画像は  $1280 \times 800$  pixels であった。ペン先が画像に触れた際に、音出力される領域が画像全体の約半分を占めるようにするため、 $a_1 = 440$  と定めた。経路開始点の接触したと判断し、経路開始点位置提示を終了する領域を、ユーザがペン先を走査させて触れることが容易である大きさに調整した結果、 $a_6 = 40$  となった。 $a_1$  と  $a_6$  の間で等間隔に値をとることで  $a_2 = 360, a_3 = 280, a_4 = 200, a_5 = 120$  と定めた。各距離画像の画素値を求める際のパラメータ  $\eta, \lambda$  を  $\eta = 1, \lambda = 64$  と定めた。

#### 4.1.2 輪郭線表現の出力音

地図画像の輪郭線を表現する出力音には、4種類の周波数の純音を使用した。各距離画像の画素値を求める際のパラメータ  $\mu, \nu$  を  $\mu = 1, \nu = 64$  と定めた。使用した周波数は 523 Hz、659 Hz、698 Hz、784 Hz であり、それぞれの純音をペン先の座標における画像  $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  の画素値に比例する振幅で再生した。



## 4.2 経路情報提示の評価実験

提案システムの経路情報提示の妥当性を定量的に評価するために、視覚障がいを持たない20代男性1名を対象に、目隠しをした状態で被験者実験を行った。実験の様子を図4.2および図4.3に示す。



図 4.2: 実験風景その1



図 4.3: 実験風景その2

### 4.2.1 使用方法の習熟

被験者は、まず提案システムの説明を受け、使用方法を習熟するためのプログラムを使用した。被験者に対し、提案システムで用いられる全種類の出力音を提示し、各出力音と地図情報、経路情報との対応関係を説明した。提案システムの使用方法を習熟するためのプログラムには、地図情報の提示のみを行うものと、経路情報の提示のみを行うものの2つを用意した。地図情報の提示のみを行うプログラムでは3.3.3節で示した図3.19を提示し、経路情報の提示のみを行うプログラムでは3.2.2節で示した図3.7を提示した。

### 4.2.2 提案システムの使用

被験者が、上記のプログラムを使用した後に、提案システムを実装したプログラムを使用し、性能評価実験を行った。提案システムは図4.4に示す地図情報と、図4.5に示す経路情報を提示した。提示した経路には、全ての方向の経路について実験結果を取得するために、開始地点から目的地点までを最短で結ばずに迂回するものを用いた。図4.5では地図情報が灰色で表示されているが、実際の経路画像には描画されていない。被験者は提案システムを2回使用した。1回目では、提示されている経路情報を把握するために、被験者が画面上を自由に探査した。2回目では、被験者が提示されている経路をペン先でなぞった。2回目ではペン先が触れた全ての座標を取得し、被験者がなぞった経路を記録した。

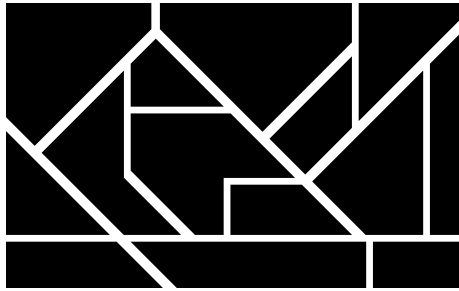


図 4.4: 提示する地図情報

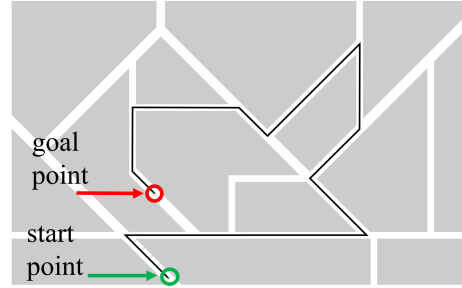


図 4.5: 提示する経路情報

### 4.2.3 実験結果の解析

被験者が提案システムを2回目に使用した際に、被験者がなぞった経路を解析した。被験者が2回目になぞった経路を青色の線で描画した画像を図4.6に示す。



図 4.6: 2回目になぞった結果

被験者がなぞった結果から、提案システムの経路提示が適切であるかを評価する。指標として、被験者が2回目になぞった点の位置ベクトル  $X_i$  と、その点から一番近い経路上の点の位置ベクトル  $C_i$  との平均距離  $E$  と、距離の標本分散  $V$  を用いる。被験者が描画した点の数を  $U$  とし、 $E$  を式(4.1)に、 $V$  を式(4.2)に示す。また、なぞった点から経路までの距離  $|X_i - C_i|$  の概要を図4.7に示す。

$$E = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U |X_i - C_i| \quad (4.1)$$

$$V = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U (|X_i - C_i| - E)^2 \quad (4.2)$$

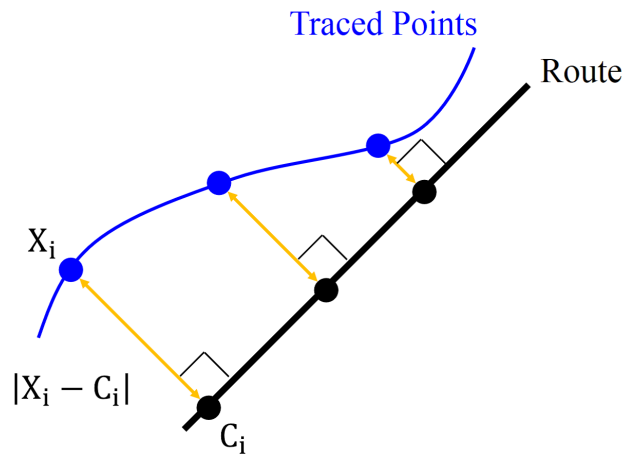


図 4.7: なぞった点から経路までの距離

提示した経路を各頂点で線分に分割し、開始地点側から順に番号を与えた。分割後の線分と、各線分の番号を図 4.8 に示す。被験者が描画した点をどの線分に最も近接しているかによって分類した。各線分と、その線分に近接していると分類された点について平均距離と、距離の標本分散を算出した。各線分の長さ、平均距離、距離の標本分散を算出した結果を表 4.2 に示す。

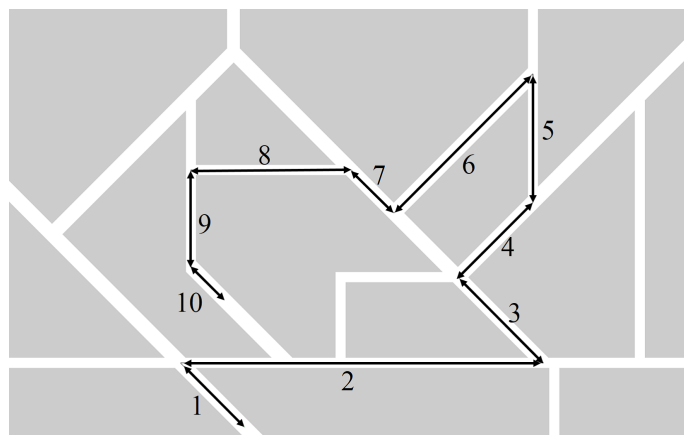


図 4.8: 経路の分割と線分の番号

表 4.2: 実験結果

線分の番号	線分の長さ (pixel)	平均距離 (pixel)	距離の標本分散 (pixel <sup>2</sup> )
1	169.71	11.15	73.25
2	680.00	30.95	208.00
3	226.27	32.24	343.14
4	197.99	38.95	337.01
5	240.00	38.83	267.07
6	367.70	53.63	16.08
7	113.14	31.81	458.12
8	300.00	33.72	256.49
9	180.00	35.28	339.89
10	84.85	17.72	204.77
全体	2559.66	38.70	370.90

### 4.3 視覚障がい者からの評価

視覚障がい者を対象に、提案システムの使用方法を説明し、使用した感想を調査した。実験は8年前に全盲となった50代男性を1人を対象として実施した。

#### 4.3.1 地図情報の提示について

地図情報の提示手法について評価するために第3.3.3節で示した図3.19を使用した。4種類の純音を、音階によって判別することは、ユーザへの負荷が大きい行為であった。道路形状のように大きな地形情報の提示より、電柱や歩道の凹凸などの小さな地形情報の提示が視覚障がい者にとって必要とされているという意見を得た。

#### 4.3.2 経路情報の提示について

経路情報の提示手法について評価するために第3.2.2節で示した図3.7を使用した。地図情報の提示音と同様に、音階を判別することがユーザにとって負担となった。既存の音声ナビゲーションでは、目的地に近接する道路上で経路案内が終了するため、目的地の入り口の位置のような詳細が提示可能であれば、視覚障がい者にとって便利であるという意見を得た。

## 4.4 考察

経路情報提示の評価実験ので得られた数値より、被験者がなぞった各点から提示した経路までの平均距離を計算した結果、1280 × 800 pixelの地図画像において平均距離は38.70

pixelであった。この平均距離は地図中の分岐間の距離の最小値 80 pixel より小さいため、提案システムの経路情報提示により、今回の実験で使った地図中において、経路が描かれている正しい道をなぞることが可能であった。また、提示した経路の各線分の長さ、なぞった点から各線分までの平均距離との相関係数は 0.26 であった。よって、提示した経路の各線分の長さは、提示した経路からなぞった点までの距離に対し影響が小さいことがわかった。一方で、提示した経路の各線分の長さ、なぞった点から各線分までの距離の標本分散との相関係数は  $-0.51$  であった。よって、各線分の長さ、距離の標本分散には負の相関関係があり、各線分が長い場合においては、提示した経路からなぞった点までの距離の変化が小さくなることがわかった。提示した経路のうち、線分が長い区間において、提示した経路からなぞった点までの距離の変化が小さかったことは、線分に対して被験者が平行線を描くようになぞったことが原因だと推測される。以上より、提示する経路の各線分を長くすることにより、経路の位置を提示する精度は向上しないものの、経路方向を提示する精度が向上すると考えられる。従って、提案システムを使用する際には、経路の各線分を長く表示できるようにするために、画面サイズが大きいタッチパネルディスプレイを使用することが望ましいと考えられる。

視覚障がい者からの評価より、地図の輪郭線と経路の方向を提示された音の音階によって判別することはユーザへの負荷が大きいことがわかった。特に、経路情報を提示する音には 8 種類と、多くの種類の音階を用いたため、判別が困難であった。異なる楽器の音を提示し、音階以外の音色などの特徴を用いることで判別を容易にする、提示する方向を上下左右方向に限定することで提示する音の種類を減らす等の改善が必要であると考えられる。

## 第5章 おわりに

本研究では、タッチパネルディスプレイと誘導音により、視覚障がい者に地図の道路形状と経路を提示するシステムを提案した。地図画像から輪郭線抽出を行い、経路画像からの経路情報の取得を行うことで、任意の地図と経路に関して視覚障がい者への提示を可能にした。輪郭線の提示と、経路の提示に音色が異なるの出力音を用いることにより、輪郭線と経路を同時に提示することを可能にした。

提案システムの有用性を確認するために、視覚障がい者を対象に被験者実験を行った。実験では、被験者が提案システムの使用方法を習熟するためのプログラムを使用した後に、提案システムを使用して地図と経路の情報を取得した。実験結果より、提案システムを用いることで、ユーザが地図中の正しい道にそって経路をなぞることが可能になることがわかった。また、経路を構成する各線分が長い状況において、提案システムによる経路方向の提示が良好となることがわかった。

提案システムを用いることで、視覚障がい者が外出する際に必要な情報を取得することが可能となり、情報機器のバリアフリー促進に貢献することが期待される。

## 謝 辞

本研究は大阪大学基礎工学部で行ったものである。

本研究を行う際に、研究環境を提供して頂き、また本論文の添削指導および輪講、論文紹介において多大なるご指導を頂きました大阪大学 大学院基礎工学研究科 大城理教授に篤くお礼を申し上げます。さらに、研究テーマや実装手法の考案にあたり、多くのアドバイスを下さいました大阪大学 大学院基礎工学部研究科 井村誠孝准教授に心より感謝致します。また、研究室に配属された当初、研究に必要なプログラミングの基礎の教え頂きました大阪大学 サイバーメディアセンター 黒田嘉宏 准教授に深く感謝いたします。また、研究を進めるにあたり、関連研究の例示や、実装手法のアドバイスを頂きました大阪大学 大学院基礎工学研究科 吉元俊輔助教に心より感謝致します。また、担当教員として、研究テーマの考案、プログラミングの指導、研究の進捗の相談について、多くのご協力を頂きました大阪大学 大学院基礎工学研究科 浦西友樹助教に深くお礼申し上げます。

また、本研究の評価実験にご協力頂きました三宅正夫氏にお礼申し上げます。また、日頃の研究室生活において、多くのアドバイスを下さり、大変お世話になりました大城研究室の先輩方である高畑裕美氏、井手口裕太氏、籾岡亮氏、松崎成敏氏、横旗亮輔氏、團原佑壮氏、長坂信吾氏、中藤寛己氏、豆野裕信氏、和田章宏氏にお礼申し上げます。最後に、互いに励ましあい研究について協力した同期の加藤高浩氏、上西健太氏、川口純輝氏、永田一真氏、藤浪明成氏、古澤大樹氏、脇田卓氏、研究生の Rodrigues Victor MATSUGUMA 氏に感謝します。

本研究における被験者実験は、大阪大学 大学院基礎工学研究科 人を対象とした研究に関する倫理委員会の承認 (25-9) を得て行ったものである。

## 参考文献

- [1] 宮城愛美, 渡辺哲也, 南谷和範, 長岡英司. 視覚障害者のインターネット利用状況調査 2007. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108, No. 66, pp. 13–18, 2008.
- [2] 林大作, 荻原貴文, 遠西学, 中村直人. 点図ディスプレイを用いた触図図形提示方法の検討. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 334, pp. 53–56, 2010.
- [3] 長岡英司, 小野束, 富澤邦子, 小野瀬正美, 納田かがり. 視覚障害者用『マルチモーダル図書 天文学入門—宇宙と私たち』の刊行. 筑波技術テクノレポート, Vol. 17, No. 1, pp. 1–4, 2009.
- [4] 野澤しげみ, 稲葉妙子, 田中直子, 長岡英司, 藤井亮輔, 小野瀬正美, 納田かがり, 鈴木志寿香. Epub 閲覧ソフト「Epub 音声リーダー」の開発と試用. 筑波技術大学テクノレポート, Vol. 20, No. 2, pp. 1–6, 2013.
- [5] 渡部謙, 山口俊光, 渡辺哲也. 触地図における記号の探索性・識別性の評価. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111, No. 58, pp. 101–105, 2011.
- [6] 吉田翼, 木谷 Kris 真実, Serge Belongie, Kevin Shlei. Edgesonic :視覚障がい者のための画像特徴の可聴化. 第 18 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 1–2, 2010.
- [7] 浅野真介, 橘賢二, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰. 音階表現によるグラフ形状の理解支援. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 105, No. 684, pp. 47–52, 2006.
- [8] 怡土順一, 井村誠孝, 浦西友樹, 金谷一朗, 佐々木健一, 末永剛, 松田一樹, 山口明彦, 山本豪志朗. OpenCV2 プログラミングブック. pp. 125–126, 2011.