

適応ファジィ推論ニューラルネットワークを用いた 視覚障害者用学習型位置情報提供システム

小西 孝史*・前田 義信*,**・田野 英一***・牧野 秀夫*

AFINN-based Position Guidance System for the Visually Impaired

Takashi KONISHI,* Yoshinobu MAEDA,** Eiichi TANO,*** Hideo MAKINO*

Abstract In this paper, we proposed a new guidance scheme of the GPS-GIS-based speech guidance system using the adaptive fuzzy inference neural network (AFINN). Geographic Information System (GIS) calculates some attributes of user-to-landmark relations, so-called, landmark celebrity, landmark facade, landmark area, representative point of latitude and longitude (the center of gravity) of the landmark, user's latitude and longitude from GPS, and user's direction. These attributes were transformed to six basic elements, such as the celebrity, the facade relative bearing, the Euclidean distance between the landmark and user, the area size, the direction relative bearing and the user's individual data, respectively. The AFINN, that has the above six elements as the input data, calculates a level of importance (LOI) corresponding to a "cognitive distance". We considered that acceptable guidance was achieved by using the LOI. We applied the analytic hierarchy process (AHP) to the leaning data of the AFINN. Therefore, the guidance system reflected user's preference, and obtained the guidance suitable for diverse users. Numerical simulations suggested that the AFINN should be available for determining the guidance satisfying each user. Finally, the visually impaired pedestrians evaluated the guidance system from the user's viewpoints.

Keywords: Geographic Information System, Landmark, Adaptive Fuzzy Inference Neural Network.

1. はじめに

近年、視覚障害者の外出支援として音響信号機や視覚障害者誘導ブロックの整備が進んでいる。さらに、GPS (Global Positioning System) や超音波を利用した視覚障害者の移動を支援する技術が開発されている[1-7]。多くの視覚障害者がこれらのサービスを利用して現在位置を知る際、道路網の形状だけでなく周囲に存在する複数のランドマーク (建物、駐車場、公園等) も手掛かりにし、道路網とランドマークの両者を頭の中の地図 (認知地図[8]) と比較・参照する。新情報を得た場合は認知地図を再形成する

ことでナビゲーションを成し遂げる。音声を用いて現在位置を知るためには、冗長な案内テキストの使用は認知地図の参照や再形成を妨害することもあるために避けるべきである。そこで、空間認知に適したランドマークをひとつ抽出し、それを現在位置として音声案内することは有効と考えられる[9]。

著者らは視覚障害者の歩行を補助する目的で、現在位置をランドマークやウェイポイント (交差点) の名称として音声案内する現在位置案内システムを開発し、新潟大学五十嵐キャンパスと近隣の市街地において適切な案内が行われることを実験的に確かめた[10, 11]。このシステム (以下、案内システム) の GIS (Geographic Information System) 部分では、地図上の情報は全て領域 (案内ブロック) で記述され、案内ブロックの名称、ID 番号、その案内ブロックが存在するレイヤ名称の3つの属性がデータベース (以下、DB) に登録されている。視覚障害者の現在位置 (経度・緯度) は、視覚障害者自身が装着した GPS 受信機から取得される。現在位置が地図上でウェイポイントの案内ブロックにあるならば、現在位置はウェイポイントの名称として音声案内される。現在位置がウェイポイントに存在しない場合、円検索 (半径 50 m) により周辺のランドマーク

生体医工学シンポジウム 2007 発表 (2007 年 9 月, 札幌)
2007 年 7 月 31 日受付, 2007 年 12 月 6 日改訂, 2008 年 1 月
10 日再改訂
Received July 31, 2007; revised December 6, 2007, January
10, 2008.

* 新潟大学
Niigata University

** 広島大学
Hiroshima University

*** 関東職業能力開発大学校
Kanto Polytechnic College

の検索を行い、視覚障害者からのユークリッド距離が最短となるランドマークの案内ブロックが現在地名として音声出力される。

ところで、市街地に存在するランドマークの地理的特性は一樣とは限らない。規模が大きく多くの人に認知されているものから、規模が小さくあまり認知されていないものなど多種にわたる。また近傍ランドマークにおいても、その正面が視覚障害者の反対側にある場合は現在位置として案内するのに適切であるとは言い難い。このことから案内されるランドマークは単にユークリッド距離が最短となるものを選択するのではなく、ユークリッド距離、正面性、知名度等の特性を考慮した距離（以下、認知距離[8]）が最短となるものを選択した方がよいと考えられる。著者らは認知距離が最短となるランドマークを、ファジィ推論を用いてひとつ抽出し、現在位置として出力する方式を提案した[12]。メンバーシップ関数の形状を汎用性のあるものに決定するために、アンケート調査やインターネットによる調査[12, 13]の結果に基づいてメンバーシップ関数を構成した。

しかし、案内システムを使用する視覚障害者が必ずしも汎用性のある案内を好むとは限らない。つまり、案内システムにはヒトの嗜好に応じて案内情報を意図的に変更できる柔軟さが求められる。そこで、本研究では適応ファジィ推論ニューラルネットワーク (Adaptive Fuzzy Inference Neural Network: AFINN) [14] を導入し、AFINNを用いた案内システムが、視覚障害者の要望を満たすシステムであることをシミュレーションと視覚障害者による実地実験によって示す。

2. 提案する視覚障害者用学習型位置情報提供システム

提案する案内システムは、ランドマーク DB (ID, ランドマーク名称, 経度, 緯度, 知名度, 正面方向, ランドマーク面積) を含む GIS と GPS 受信機, 方位センサから構成されている。視覚障害者が装着する GPS 受信機と方位センサから経度・緯度・方位を取得後、その位置がウェイポイント上に存在しない場合、検索範囲 (半径 50 m) 内のランドマークを全て取得する。視覚障害者の現在位置と各ランドマーク間に、線路, 川, 大通り等のエッジ[15]が存在する場合、それらのランドマークは除外される。そして、現在位置 ϕ からみて残った各ランドマーク ψ までの正規化されたユークリッド距離 $u_1(\phi, \psi)$, 知名度 $u_2(\phi, \psi)$, 相対正面角度 $u_3(\phi, \psi)$, 面積 $u_4(\phi, \psi)$, 相対進行方向 $u_5(\phi, \psi)$, 基準データ $u_6(\phi, \psi)$ をそれぞれ GIS を用いて算出する。ただし算出される各ランドマーク情報は以下のように正規化されるものとする。

$u_1(\phi, \psi)$: 残ったランドマークの中でユークリッド距離の平均を 0.5 とし, 0 から 1 までの範囲で正規化される。ただし, 値が 0 以下の場合には 0 に, 1 以上の場合は 1 に修正

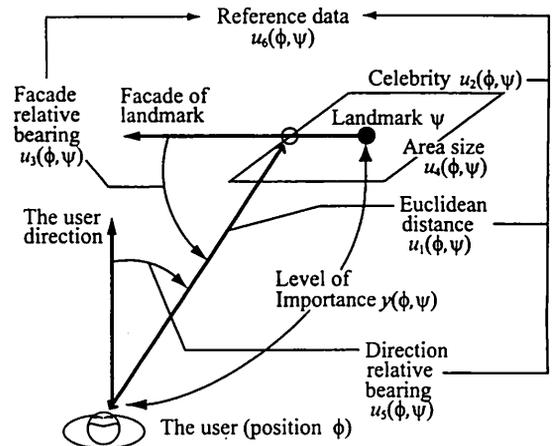


図 1 6つのランドマーク属性とランドマーク重要度
Fig. 1 Six attributes and the level of importance on the user-to-landmark relation.

される。

$u_2(\phi, \psi)$: 藤井ら[13]の出現頻度の順位を用いて、最高位である 1 位を 1 とし 0 から 1 までの範囲で正規化される。

$u_3(\phi, \psi)$, $u_5(\phi, \psi)$: 左右方向での案内の違いを相殺するため左右共に $0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で変化するものとし, 180° を 1 とし 0 から 1 までの範囲で正規化される。

$u_4(\phi, \psi)$: 周辺地域におけるランドマーク面積の平均値を 0.5 とし, 0 から 1 までの範囲で正規化される。ただし, 値が 0 以下の場合には 0 に, 1 以上の場合は 1 に修正される。

$u_6(\phi, \psi)$: ランドマークに対するユークリッド距離, 相対正面方向, 相対進行方向は値が小さいほど重要であり, 知名度, 面積は値が大きいほど重要と考えられる。そこで, その特徴を $u_6 = \frac{u_1 u_3 u_5}{u_2 u_4}$ と定義して, 基準データとす

る。この基準データ $u_6(\phi, \psi)$ は平均値を 0.5 とし 0 から 1 までの範囲で正規化される。ただし, 値が 0 以下の場合には 0 に, 1 以上の場合は 1 に修正される。

算出されたランドマーク情報を AFINN に入力し, 出力されるデータをランドマーク重要度 $\hat{y}(\phi, \psi)$ とし, $\hat{y}(\phi, \psi)$ が最大となるランドマーク ψ を現在位置として採用する (図 1)。

2.1 適応ファジィ推論ニューラルネットワーク (AFINN)

AFINN は, 学習によって入力の選択やルール数の決定等のモデリング, パラメータの設定を動的に行い, 学習を通して獲得されたルールを抽出する。提案する視覚障害者用学習型位置案内システムに用いる 6 入力 1 出力の AFINN の構造を図 2 に示す。AFINN は, 入出力層とルール層の 2 層から構成される。入力層は入力部と出力部から構成されており, 入力部とルール層間, ルール層から出力部間には全結合となっている。入力部からルール層間にはメンバーシップ関数が配置され, ルール層から出力部間には後

件部定数が配置されている。ルール層上のノードは、それぞれがファジールールを表している。入力部からルール層では if-then 型ファジィ推論規則における入力の適応度を求める前件部を、ルール層から出力部では求めた適応度から結論を導く後件部を表現している [16].

2.2 AFINN の動作

入力する変数の数を 6, ファジールールの数を N , 出力変数の数を 1 とすると, AFINN への入力は,

$$U = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6)^T, \tag{1}$$

と表される。また入力部ノード $i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ から、ルール層上のノード $j (j=1, 2, \dots, N)$ に対しての前件部メンバーシップ関数 $\mu_{ij} (0 < \mu_{ij} \leq 1)$ は、図 3 のようなベル形の形状であり、次式で与えられる。

$$\mu_{ij} = \exp\left(-\frac{(u_i - w_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right). \tag{2}$$

ここで w_{ij}, σ_{ij} は、メンバーシップ関数の中心値と幅を表す。ルール層では各ノードに入力されるメンバーシップ関数 μ_{ij} の最小値をとり、適応度 ρ_j を計算する。

$$\rho_j = \min[\mu_{1j}, \mu_{2j}, \mu_{3j}, \mu_{4j}, \mu_{5j}, \mu_{6j}]. \tag{3}$$

そして各ルールの後件部定数 ω_j を各ファジィ推論規則

の適応度 ρ_j で重み付け平均をとることによって最終的な推論出力 \hat{y} を求める。

$$\hat{y} = \frac{\sum_j^N (\omega_j \rho_j)}{\sum_j^N \rho_j}. \tag{4}$$

提案する案内システムでは、この最終的な推論出力 \hat{y} をランドマーク重要度とする。

2.3 AFINN の学習

AFINN の学習の概略について説明する。AFINN の学習は、ルールの仮決定段階、入力要素選択段階、モデル決定段階、教師あり学習である Least Mean Square (LMS) 学習段階の 4 段階からなり、適切な入力要素の選択並びに、ルール生成、パラメータの調整が行われる。

2.3.1 ルールの仮決定段階

Linkens [17] のアルゴリズムを元として発展させた適応型自己組織化アルゴリズムを用いて、メンバーシップ関数の中心値 w_{ij} と後件部定数 ω_j を仮決定する。この手法は Kohonen [18] のアルゴリズムより高速で、動的に入力データに対応したモデル構成が可能である。入力空間と出力空間を総合的に扱うために、式 (1) で表される 6 次元の入力ベクトル U とそれに対応する希望の出力である 1 次元の信号ベクトル Y

$$Y = (y_1). \tag{5}$$

を以下のように 7 次元の学習ベクトル I_m に統合する。ただしデータ数を $m (m=1, 2, \dots, L)$ とする。

$$I_m = \begin{pmatrix} U \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ Y \end{pmatrix}. \tag{6}$$

入力部、出力部それぞれからマップ層上のニューロン j への結合ベクトル

$$W_j^U = (w_{1j}, w_{2j}, w_{3j}, w_{4j}, w_{5j}, w_{6j})^T, \quad (6 \text{ 次元}) \tag{7}$$

$$W_j^Y = (\omega_j), \quad (1 \text{ 次元}) \tag{8}$$

を次式のようにまとめて重みベクトル W_j (7 次元) と書くことにする。

$$W_j = \begin{pmatrix} W_j^U \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ W_j^Y \end{pmatrix}. \tag{9}$$

初期値として、既存のルール数 N_r を 0, ルール更新回数

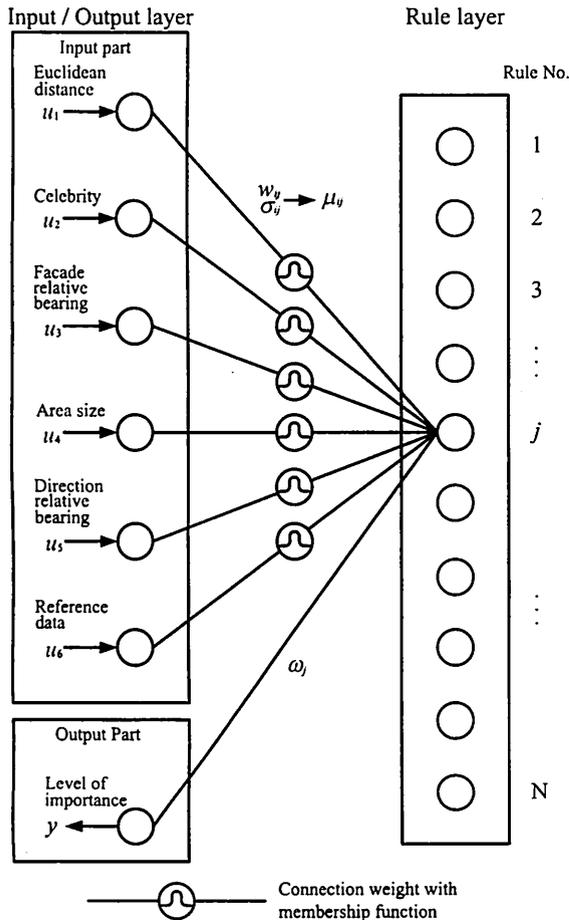


図 2 AFINN の構造
Fig. 2 Structure of AFINN.

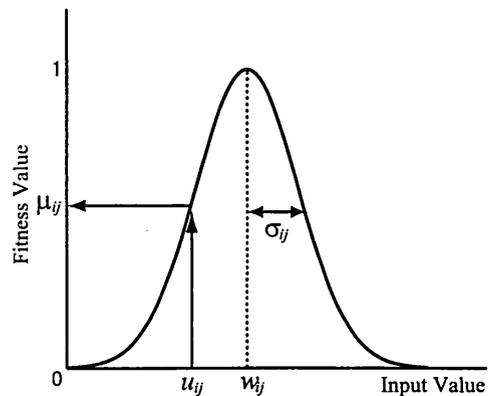


図 3 メンバーシップ関数
Fig. 3 Membership function.

M を 0 とする。初期入力ベクトル I_1 は AHP (Analytic Hierarchy Process: 階層分析法 (3・1・1)) [19] から算出された理想のルールであり, そのまま最初のルールとして用いられ, ルール数は $N_r=1$ に更新される。既存の N_r 個のルールから, 学習ベクトル I_m に対して, ユークリッド距離を計算し, ユークリッド距離が最小となる勝ちルール W_j を選択する。

$$\|W_j - I_m\| = \min_j \|W_j - I_m\|. \quad (10)$$

式(10)より算出されたユークリッド距離 $\|W_j - I_m\|$ が ξ_{SELF} より小さい場合, 勝ちルール W_j を更新し更新回数 M を 1 増加させる。

$$W_j(t+1) = W_j(t) + \varepsilon_{SELF}(I_m - W_j(t)) \quad \|W_j - I_m\| < \xi_{SELF}, \quad (11a)$$

一方大きい場合は, m 番目の入力ベクトルを新しい重みベクトル。

$$W_j = I_m, \quad \|W_j - I_m\| \geq \xi_{SELF}. \quad (11b)$$

として代入し, ルール数 N_r を 1 増加させる。ここで, ε_{SELF} は学習係数であり, 総データ数 L と更新回数 M を用いて次式で定義する。

$$\varepsilon_{SELF} = \varepsilon_{SELFinit} \left(\frac{L-M}{L} \right)^2. \quad (12)$$

ただし, $\varepsilon_{SELFinit}$ は学習係数の初期値であり, ε_{SELF} は学習の進行にしたがって単調減少する。そのため, 学習の初期ではルールの更新が広範囲で行われ, 次第に狭くなる。以上の手順を繰り返すことにより, 入力と出力の関係を特徴ごとに自動的に分類する。そしてデータ数が $m=L$ となった場合, ルール仮決定段階を終了し AFINN のファジィルールが仮決定される。

2・3・2 入力要素選択段階 入力要素 U の選択は適切なファジィモデリングを行ううえで重要となる。不適切な入力要素は, 誤学習や誤動作の原因になる。この入力要素選択段階では, 次の 2 つの方法にて入力要素の選択を行う。

1) 入力要素重要度の算出 はじめに 2・3・1 で求めたネットワークの重みを用いて m 番目の入力に対する重要度を算出する。

$$z_i^{(m)} = \frac{\sum_j^N \mu_{ij} \omega_j}{\sum_j^N \mu_{ij}}, \quad (13)$$

ただし, μ_{ij} は式(2)によって算出されるメンバーシップ値である。

次に i 番目の入力から出力への入力値の重要度は L 組の $z_i^{(m)}$ から求め, これを最終的な入力的重要度 F_i とする。

$$F_i = \frac{R_i^{(m)}}{R}, \quad (14)$$

ただし

$$R_i^{(m)} = \max_m(z_i^{(m)}) - \min_m(z_i^{(m)}), \quad (15)$$

$$R = \max_m R_i^{(m)}, \quad (16)$$

である。そして i 番目の入力要素において, 次式を満たすものを削除する。

$$F_i < \max_i F_i \times \xi_{input}, \quad (17)$$

ただし, ξ_{input} は定数とする。

2) 入力要素相関の算出 更に相関を用いた入力要素の選択を行う。残された入力要素の u_a と u_b ($1 \leq a, b \leq 6$) の相関 $\varphi(a, b)$ は次式より求められる。

$$\varphi(a, b) = \frac{1}{L} \cdot \frac{\sum_m^L (u_a^{(m)} - \bar{u}_a)(u_b^{(m)} - \bar{u}_b)}{\sigma_{u_a} \sigma_{u_b}}, \quad (18)$$

ただし,

$$\bar{u}_i = \frac{1}{L} \sum_{m=1}^L u_i^{(m)}, \quad (19)$$

$$\sigma_{u_i} = \sqrt{u_i^2 - (\bar{u}_i)^2}. \quad (20)$$

である。残された入力要素間の相関を調べ, ある一定値以上の相関 ξ_{corr} を持つ組のうち, 入力的重要度 F_i が大きいものを残し, 他方を削除する。以上の段階により無駄な入力要素を削除でき, 出力に与える影響度が高い入力要素のみを用いることが自動的にできる。

2・3・3 モデル決定段階 ルールの仮決定段階, 入力選択段階により推論に必要な入力要素が求められたので, この選択された入力要素のみを用いて再度 2・3・1 の適応型自己組織化アルゴリズムを用いてルールを決定する。

2・3・4 LMS 学習段階 構成が決定された AFINN に対して, 教師あり学習である LMS 学習則を用いてネットワークのパラメータの調整を行う。LMS アルゴリズムの学習係数を ε_{LMS} とすると, AFINN の結合荷重, メンバシップ関数の分散値はそれぞれ以下のように更新される。ここで y は教師信号である。

$$\omega_j(t+1) = \omega_j(t) + \varepsilon_{LMS}(y - \hat{y}) \frac{\rho_j}{\sum_n^N \rho_n}, \quad (21)$$

表 1 AFINN のパラメータ
Table 1 Parameters of AFINN.

ξ_{SELF} (%)	10
$\varepsilon_{SELFinit}$	0.5
ξ_{input}	0.1
ξ_{corr}	0.95
ε_{LMS}	0.001

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \varepsilon_{LMS}(y - \hat{y}) \left(\frac{\omega_j \sum_{j=1}^N \rho_j - \sum_{j=1}^N (\omega_j \rho_j)}{(\sum_{j=1}^N \rho_j)^2} \right) q_{ij} \mu_{ij} \frac{2(u_i - w_{ij})}{\sigma_{ij}^2}, \quad (22)$$

$$\sigma_{ij}(t+1) = \sigma_{ij}(t) + \varepsilon_{LMS}(y - \hat{y}) \left(\frac{\omega_j \sum_{j=1}^N \rho_j - \sum_{j=1}^N (\omega_j \rho_j)}{(\sum_{j=1}^N \rho_j)^2} \right) q_{ij} \mu_{ij} \frac{2(u_i - w_{ij})^2}{\sigma_{ij}^3}, \quad (23)$$

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \rho_j = \min[\mu_{1j}, \mu_{2j}, \mu_{3j}, \mu_{4j}, \mu_{5j}, \mu_{6j}] = \mu_{ij}, \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (24)$$

本研究では、予備実験の結果、ルールの仮決定段階、入力要素選択段階、モデル決定段階、LMS 学習段階における各種パラメータを表 1 のように設定した。

3. シミュレーション

3.1 現在位置案内シミュレーション

3.1.1 AFINN の学習 新潟市万代地区のランドマーク DB を用いて、提案する案内システムによる現在位置案内シミュレーションを行う。AFINN の学習データとして新潟市万代地区における任意の 500 m 四方の領域内に、50 m 間隔で学習地点 (121 地点、ランドマーク数 1742 個) を設定する。設定された各学習地点 $\phi (\phi = 1, 2, \dots, 121)$ で選択されるランドマーク $\psi (\psi = 1, 2, \dots, l(\phi))$ までのユークリッド距離 $u_1(\phi, \psi)$ 、知名度 $u_2(\phi, \psi)$ 、相対正面角度 $u_3(\phi, \psi)$ 、面積 $u_4(\phi, \psi)$ 、相対進行方向 $u_5(\phi, \psi)$ 、基準データ $u_6(\phi, \psi)$ を GIS より算出する。ただし相対進行方向については 16 方向をランダムに設定した。算出されたランドマークの情報から各ランドマーク重要度 \hat{y} を決定し AFINN に用いる学習用データとする。しかし矛盾が存在する学習データは誤学習や誤動作の原因となりうるため、学

習用データの作成は重要となる。ヒトが任意に \hat{y} を設定する場合、一貫性を保って全ての学習地点の \hat{y} を設定するのは困難であり労力を必要とする。意思決定における労力を軽減するために、学習データ作成の手段として AHP (図 4) を用いて、各ランドマークに対して、ヒトの嗜好を反映させた \hat{y} を求める。AHP ではヒトの嗜好を入力することで、学習地点 ϕ ごとに検索される各ランドマークの重要度 \hat{y} を算出することができる。このとき、図 4 に示す重み $v_i (i = 1, 2, \dots, 5)$ をヒトの嗜好より決める必要がある。そこで、外出時に白杖を使って移動する視覚障害者 3 名 (男性 2 名、女性 1 名) に現在位置として空間認知するときの入力要素 $u_1(\phi, \psi)$ から $u_5(\phi, \psi)$ の優先順位に関するアンケート調査を行った。ただし、アンケートでは他の全ての要素から算出される基準データについては順位を付けないものとした。アンケート調査の結果から平均優先順位を求め (図 5)、これを視覚障害者の嗜好として学習データに反映させる v_1 から v_5 の値を相対位置評価法 [20] より算出した。学習地点における各ランドマークに対し、GIS から求めた

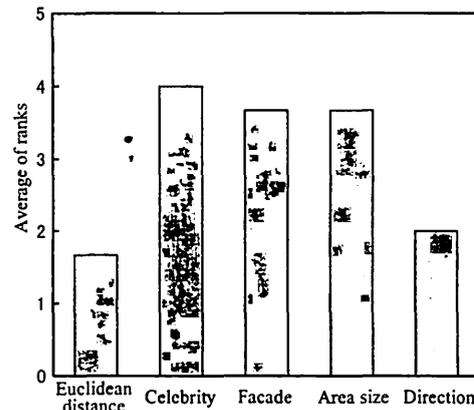


図 5 視覚障害者におけるランドマーク属性の平均順位
Fig. 5 Mean rank of the attributes of user-to-landmark relations, shown by the visually impaired.

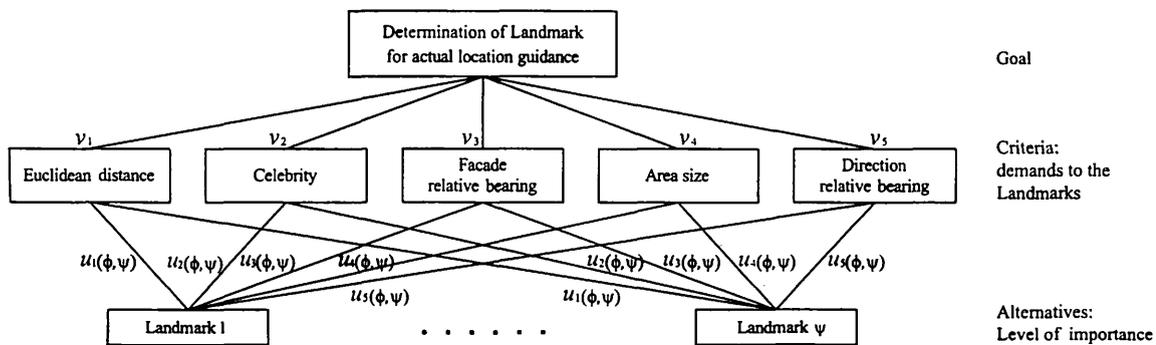


図 4 AHP における階層化の例 (最終目標が現在位置案内のためのランドマークの決定、評価基準がランドマークに対する嗜好、代替案が案内位置に存在するランドマーク重要度)
Fig. 4 Example of analytic hierarchy process (AHP). Upper: Goal, Middle: Criteria, Lower: Alternatives. The goal corresponds to “determination of a landmark for guidance at the current location”, the criteria correspond to “attributes of user-to-landmark relations” and the alternatives correspond to “landmarks”, respectively.

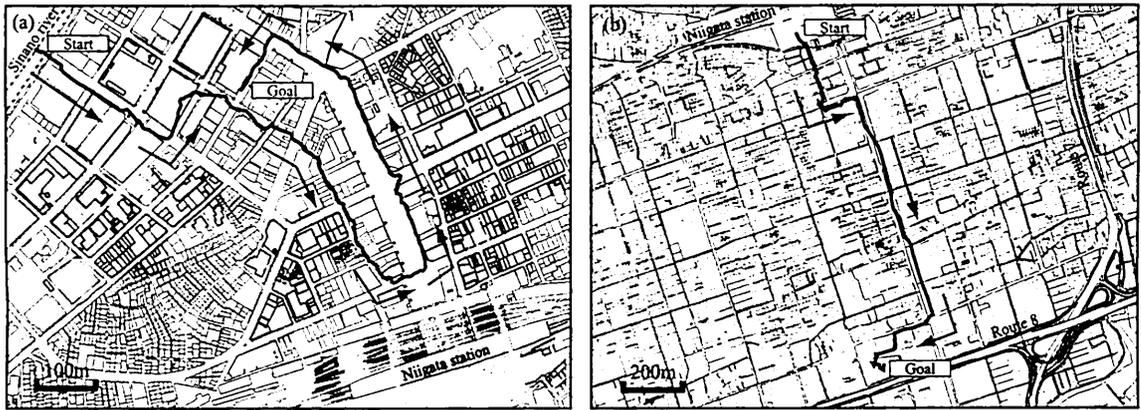


図 6 新潟駅周辺の歩行経路
(a) 万代地区 (b) 駅南地区

Fig. 6 Walking route of the Niigata Station vicinity.
(a) Bandai Area, (b) Ekinan Area.

表 2 AFINN と AHP のランドマーク重要度における相関係数, 案内相違率
(a) 万代地区 (b) 駅南地区

Table 2 Correlation coefficients of the level of importance of the landmark and the ratios of the guidance difference between AFINN and AHP.
(a) Bandai Area, (b) Ekinan Area.

	Correlation coefficient of the level of importance of the landmark $Corr(\hat{y}_{AFINN}, \hat{y}_{AHP}^{(n)})$		Guidance difference $\lambda(\%)$	
	(a)	(b)	(a)	(b)
Learning data ($n=0$)	0.974	0.928	10.0	14.3
VI* No.1 ($n=1$)	0.948	0.928	11.4	12.9
VI* No.2 ($n=2$)	0.948	0.928	11.4	12.9
VI* No.3 ($n=3$)	0.743	0.758	37.1	34.3

*VI: the Visually Impaired

ユークリッド距離 $u_1(\phi, \psi)$, 知名度 $u_2(\phi, \psi)$, 相対正面角度 $u_3(\phi, \psi)$, 面積 $u_4(\phi, \psi)$, 相対進行方向 $u_5(\phi, \psi)$, 基準データ $u_6(\phi, \psi)$ と, 平均嗜好順位から求めた重み v_i を用いてランドマークの重要度 \hat{y} を自動的に算出する。以上の 7 つの属性を持つデータを学習用データとする。学習用データを用いて 2・3 に示した AFINN の学習を行う (学習回数 5000)。ただし AFINN の実験パラメータは表 1 のように設定した。

3・1・2 調査地点 ランドマーク重要度の比較に用いる調査地点として, 実際に新潟市万代地区 (図 6(a)) と新潟市駅南地区 (図 6(b)) を歩行し GPS 受信機 (GARMIN GPSmap 76CSx) と方位センサ (Vector 2X Precision Navigation, Inc.) より出力される経度・緯度・方位データを 20 秒間隔でサンプリングを行い, 各 70 地点 ((a) ランドマーク数 718 個, (b) ランドマーク数 505 個) を調査地点として設定した。

3・1・3 調査方法 まず, 両地区の調査地点において, 学習後の AFINN から出力されるランドマーク重要度 \hat{y}_{AFINN} と, 以下の 4 つの場合 (1) と 2) における $n=0, 1,$

2, 3 の場合) における AHP から出力されたランドマーク重要度 \hat{y}_{AHP} の間の相関を調べる。ただし, 両地区の調査地点で用いる学習後の AFINN は, 万代地区の学習データを学習させたものである:

- 1) 学習用データ作成に用いた嗜好順位でのランドマーク重要度 $\hat{y}_{AHP}^{(0)}$,
- 2) 3 名の視覚障害者がアンケート調査にて回答した嗜好順位を用いて AHP から出力されたランドマーク重要度 $\hat{y}_{AHP}^{(n)}$ ($n=1, 2, 3$)。

続いて, 両地区の調査地点にて最大ランドマーク重要度を現在位置案内する場合の AFINN と AHP の案内相違率 λ を式 (25) から求める:

$$\lambda(\%) = \frac{\text{案内が相違する地点数}}{\text{調査地点数 (70 地点)}} \times 100. \quad (25)$$

3・2 シミュレーション結果

調査地点における AFINN のランドマーク重要度と, 嗜好順位を変化させた AHP から出力されるランドマーク重要度における相関係数, AFINN と AHP の案内相違率を表 2 に示す。

AFINNの学習地点として用いた万代地区では、AFINNが出力するランドマーク重要度と学習用データ作成に使用した嗜好順位を用いてAHPから出力されるランドマーク重要度の相関係数は0.974と高い相関となり、案内相違率では10.0%と低い値を得た。また、視覚障害者1, 2におけるAHPから算出したランドマーク重要度は、AFINNとの間で相関係数0.9以上と高い相関であり、案内相違率は11.4%と低い値となった。一方、視覚障害者3では、ランドマーク重要度の相関係数は0.743と相関が見られるものの、案内相違率は37.1%と高い値になった。

AFINNの学習地点(万代地区)とは異なる駅南地区では、AFINNから出力するランドマーク重要度と、学習用データ作成に用いた嗜好順位、視覚障害者1, 2の嗜好順位を用いてAHPから出力されるランドマーク重要度との間で相関係数0.9以上と高い相関であり、案内相違率は10%台と低い値となった。一方、視覚障害者3では、ランドマーク重要度の相関係数は0.758と相関が見られるものの、案内相違率は34.3%と高い値になった。

4. 視覚障害者による評価実験

提案する案内システムの評価を行うため、ノートPCに案内システムをインストールし新潟県視覚障害者福祉協会に所属する視覚障害者が実際に使用した。ノートPCには3・1・2で記したGPS受信機、方位センサがRS-232Cにて接続されており、経度・緯度・方位を取得することにより、案内を出力することができる(図7)。出力されるランドマークは、音声合成ソフトウェア(SMARTTALK 沖電気)を使用して現在位置として音声案内される。案内されるランドマーク情報は例えば「右手30mに新潟大学工学部・正面です」のように、被験者からの相対的方向、距離、名称、ランドマークの方向(正面または背面)となる。また、付加情報として、ウェイポイントに近づくとアラート音が発せられる。

評価実験に参加した視覚障害者は3名である。これら3

名の視覚障害者には研究の趣旨と評価実験の内容、データの使用目的等を説明した。そして、研究評価協力同意書に代理人の署名を取得後、評価実験を行う。この視覚障害者3名は、3・1・1で嗜好の優先順位に関するアンケート調査を行った視覚障害者である。評価実験ではバックパックに入れた案内システムを背負って新潟大学五十嵐キャンパス構内の約1kmの周回コースを歩行する(事前に晴眼者である著者のひとりが歩行して安全性や確かな案内をすることを確認している)。安全のため、視覚障害者は介助者の肩に左手を添えて歩行するものとした。この視覚障害者らはほぼ毎日外出している外出経験の豊富な視覚障害者であり、その観点から現在位置案内の妥当性を評価し、感想や改善点をインタビュー形式で定性的に得た。

4・1 歩行結果

図8に視覚障害者3名が新潟大学構内のスタート地点からゴール地点までを矢印方向に歩行した経路を示す。視覚障害者らは途中ベンチャービジネスラボラトリー入口に立ち寄った。ベンチャービジネスラボラトリー入口には屋根

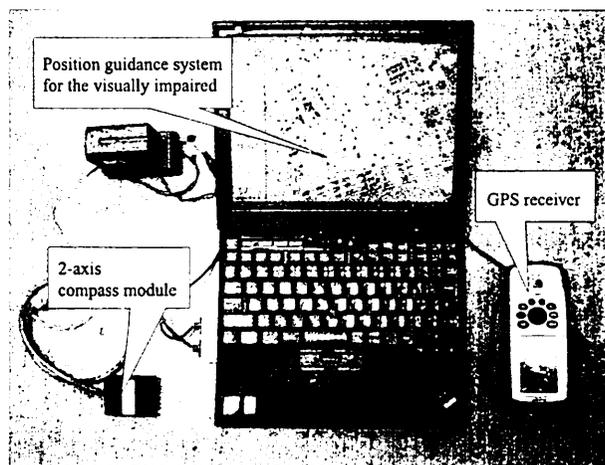


図7 視覚障害者用学習型位置情報提供システム

Fig. 7 Configuration of the guidance system for the visually impaired.

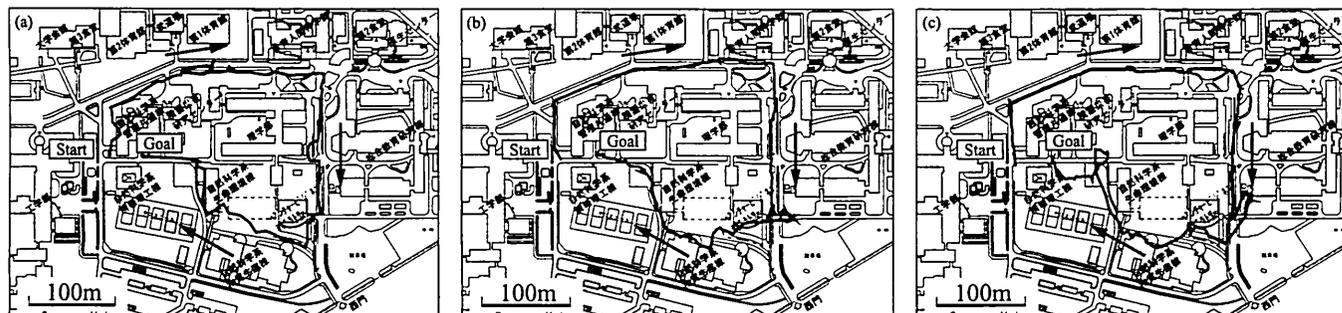


図8 大学構内歩行経路

(a) 視覚障害者1, (b) 視覚障害者2, (c) 視覚障害者3.

Fig. 8 Walking plots of three visually impaired pedestrians on campus of Niigata University.

(a) No.1, (b) No.2, and (c) No.3.

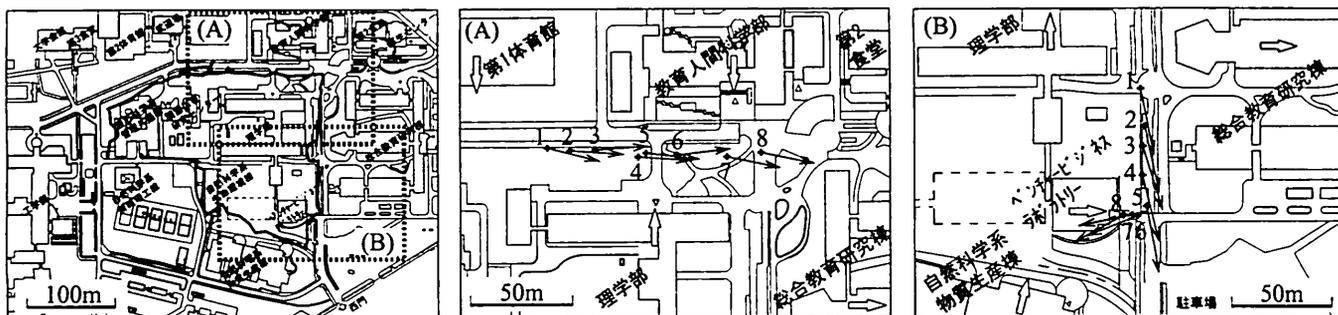


図9 ランドマーク正面方向と視覚障害者1の進行方向
 Fig. 9 Landmark facade and the visually impaired No.1's direction.

表3 領域 (A), (B) における視覚障害者1の場合の案内例
 Table 3 Guidance sample of the visually impaired No.1 at area(A) and (B).

No.	Area (A)	Area (B)
1	右前, 70 m に理学部, 正面です	右前, 70 m に VBL* です
2	右前, 60 m に理学部, 正面です	右前, 60 m に VBL* です
3	右前, 50 m に理学部, 正面です	右前, 50 m に VBL* です
4	右方向, 40 m に理学部, 正面です	右方向, 40 m に VBL*, 正面です
5	右方向, 30 m に理学部, 正面です	右方向, 20 m に VBL*, 正面です
6	右方向, 40 m に理学部, 正面です	前方, 10 m に VBL*, 正面です
7	右後方, 50 m に理学部, 正面です	前方, 10 m に VBL*, 正面です
8	右後方, 60 m に理学部, 正面です	前方, 5 m に VBL*, 正面です

*VBL: Venture Business Laboratory

が存在し、その下に位置したとき GPS 衛星からの電波が遮断されるため測位誤差が発生した。

視覚障害者1が歩行した経路の図9破線領域 (A), (B) 内での各測位地点における案内を表3に示す。なお、図9におけるランドマーク上の白矢印はランドマーク正面方向を、+印は測位地点、+印から伸びる黒矢印は視覚障害者進行方向を示す。視覚障害者の位置と進行方向が変化するのに対応して、案内も変化しているのが判る。

4.2 視覚障害者によるシステムに対する評価

評価実験に参加した視覚障害者の評価を整理すると概ね次の3点に集約できる。

- ① 歩行するにつれて、ランドマークの方位を表す言葉が「前方, 右前, 右, 右後方, 後方」と変化するので、ランドマークとの位置関係の把握が容易である。
- ② ウェイポイントは周囲の音の状況から推測できるが、アラート音によって確認できるので非常に有用である。
- ③ 空間を認知する前に、車道を挟んで向こう側のランドマークを案内する等、GPSの測位誤差により案内が揺らぐ場合があった。案内の信頼性を声色等で表現してはどうか。

ここに示すように、評価実験に参加した視覚障害者からは、本論文で提案する案内システムの使い勝手・有用性に関して高い評価を得た。

5. 考 察

AHPの理論を用いた場合、結果を導きだすために比較対象となる複数のランドマークを必要とする[19]。ランドマークの少ない郊外やDBが十分に登録されていない地域において、案内地点でランドマークがひとつのみ選択される場合、AHPでは適切なランドマーク重要度を導き出すことができない。しかしAFINNを用いることで、案内地点でランドマークがひとつのみ選択された場合においても、ランドマークの重要度が算出され、そのランドマークが現在位置として適当であるか判断することができる。また、街の形状や特性(市街地、住宅地など)は地域によって変化し、AHPを用いた場合では地域ごとに視覚障害者の嗜好の再設定を行う必要がある。一方、あるひとつの地域においてAHPをもとにして視覚障害者の平均的な嗜好を学習させたAFINNは、その学習地域とは異なる地域の案内地点においても視覚障害者の嗜好を満足させた。すなわち、AFINNを地域ごとに学習させる必要がなく、ひとつの地域で学習させたAFINNが他の地域でも適応できるため、他の地域でAHPによる視覚障害者の嗜好(AFINNにおける学習データ)の再設定を省略することができる。よって、AFINNはAHPによるユーザの作業回数を減らし、案内システムの操作性を向上させた。アンケート調査の結果からも、ヒトの空間認知に対する嗜好は様々であ

り、特に視覚障害者の外出支援に対しては、少ない回数での学習でこれら全ての嗜好に対応する技術は重要である。

しかし、GPSの測位値には $2drms^*$ で約10mの測位誤差が含まれるため、同じ案内地点であっても測位誤差により異なる案内がなされることがある。こうしたときの案内は視覚障害者の空間認知を妨げ、誤ったナビゲーションを引き起こす原因となる。実際、評価を行った視覚障害者からは、車道を挟んで向こう側のランドマークを案内するようなことが単発に生じると、空間認知の妨げになりやすいとの指摘を得た。嗜好に対する柔軟性とGPSの測位誤差への対応を同時に満足することは今後の課題のひとつである。

また、ランドマーク重要度の相関がある場合でも案内相違率が30%以上となる場合があったが(例えば表2の $n=3$ の場合)、その原因は案内地点で検索されるランドマークの中でランドマーク重要度が最も高いものをひとつ選択して現在位置として案内するためであると考えられる。すなわち、ランドマーク重要度が互いに近い値をとる場合は、嗜好順位の小さな相違が出力するランドマークを大きく変更し、異なる現在位置案内がなされたと推測される。この問題に関しては、ランドマーク重要度が比較的高い値を示す2つのランドマークを案内することで対応が可能と考えている。

6. おわりに

本論文では、ヒトの嗜好を反映しかつ汎用的な案内を行う、視覚障害者用学習型位置情報提供システムの実現を目指し、優れた学習機能をもつAFINNを利用した案内手法を提案した。提案システムでは、案内出力に関する知識やルールを埋め込みが不要で、嗜好を反映させた学習データを提供するだけで、その嗜好を反映させた案内を出力することができる。また、登録する学習データを変えるだけで、さまざまな嗜好パターンを反映させた案内が可能であり、従来のようにアンケート調査をしてメンバーシップ関数を決定する専用のシステム設計[12]が不要である。

シミュレーションでは、AHPによりヒトの嗜好を反映させた学習用データをAFINNに学習させ、AFINNがAHPと同等かつ汎用性のある出力を得ることができることを新潟市万代地区と新潟市駅南地区の歩行データを用いて確認した。提案した案内システムを視覚障害者に適用し、指定のルートの歩行が可能であることを確認した。

今後の課題として以下の2点が挙げられる。

DBを再構築する。具体的には、視覚障害者の認知地図[8, 21]を考慮し、詳細なランドマーク入口等の視覚障

害者にとって有用となる情報をランドマークDBに付加する。また、ランドマークとなりうるウェイポイントを三叉路、十字路のように分類した形で登録し案内作成に用いる。

容易に理解できる案内情報を作成する。具体的には、利用者の動作(歩行中、停止中など)や街の形状(市街地、住宅街など)を把握して状況に合った案内をする。また、視覚障害者からの「案内の信頼性を声色等で表現しては」という提案に関しては、例えばGPS受信機から出力されるDOP(Dilution of Precision: 精度低下率)[22]を取り込みその旨を表示するなどの改良を施す。

謝辞 評価実験に協力して頂き、貴重なご意見を賜った新潟県視覚障害者福祉協会の皆様に感謝します。

文 献

1. Golledge RG, Marston JR, Loomis JM, Klatzky RL: Stated preferences for components of a personal guidance system for non-visual navigation. *J Visual Impairment and Blindness*. **98**(3): 135-147, 2004.
2. Loomis JM, Klatzky RL, Golledge RG: Navigating without vision: basic and applied research. *Optom Vision Sci*. **78**: 282-289, 2001.
3. Golledge RG, Klatzky RL, Loomis JM, Speigle J, Tietz J: A geographical information system for a GPS based personal guidance system. *Int J Geogr Inf Sci*. **12**(7): 727-749, 1998.
4. Loomis JM, Golledge RG, Klatzky RL: Navigation system for the blind. *Presence*. **7**(2): 193-203, 1998.
5. Loomis JM, Golledge RG, Klatzky RL: GPS-based navigation systems for the visually impaired. *In: W. Barfield and T. Caudell, Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2001, pp. 429-446.
6. Loomis JM, Marston JR, Golledge RG, Klatzky RL: Personal guidance system for people with visual impairment: A comparison of spatial displays for route guidance. *J Visual Impairment & Blindness*. **99**: 219-232, 2005.
7. Marston JR, Loomis JM, Klatzky RL, Golledge RG, Smith EL: Evaluation of spatial displays for navigation without sight. *ACM Trans Appl Perception*. **3**: 110-124, 2006.
8. 若林芳樹: 認知地図の空間分析, 地人書房, 京都, 1999.
9. 藤井憲作, 東 正造, 杉山和弘: 道案内情報が移動プロセスに及ぼす影響. *NTT R&D*. **49**(5): 272-279, 2000.
10. 田野英一, 前田義信, 牧野秀夫, 小西孝史, 石井郁夫: 視覚障害者用GIS位置案内システムにおける情報多層化の評価. *GIS—理論と応用*. **9**(2): 41-51, 2001.
11. Maeda Y, Tano E, Makino H, Konishi T, Ishii I: Evaluation of a GPS-based guidance system for visually impaired pedestrians. *CSUN 17th Annual International Conference, "Technology and Persons with Disabilities"*, (<http://www.csun.edu/cod/conf/2002/proceedings/296.htm>)
12. 小西孝史, 前田義信, 田野英一, 牧野秀夫: 視覚障害者用移動支援システムにおける案内情報提供システム. *日本生活支援工学会誌*. **5**(2): 34-42, 2006.
13. 藤井憲作, 杉山和弘: 携帯端末向け案内地図生成システムの開発. *情報処理学会論文誌*. **41**(9): 2394-2403, 2000.
14. Iyatomi H, Hagiwara M: Adaptive fussy inference neural network. *Pattern Recognition*. **37**: 2049-2057, 2004.

* $2drms$ (twice the distance root mean square) は定点測位の場合において平均位置を中心として半径 $2drms$ の円の中心に全測位値の95%が含まれることを意味する。

15. Lynch K: The image of the city, MIT Press, Massachusetts, 1960.
16. 菅野道夫: ファジィ制御, 日刊工業新聞社, 東京, 1997.
17. Linkens DA, Chen MY: Input selection and partition validation for fuzzy modeling using neural network. Fuzzy Sets Systems. 107: 299-308, 1999.
18. Kohonen T: The self-organizing map. Proc IEEE. 78(9): 1469-1480, 1990.
19. Saaty TL: Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process (Second Edition). RWS Publications, 2001, pp. 23-82.
20. 盛亜也子, 鈴木聡士: AHP における相対位置評価法に関する研究. 土木計画学研究・論文集. 18(1): 129-138, 2001.
21. Waller D, Loomis JM, Golledge RG, Beall AC: Place learning in humans: The role of distance and direction information. Spat Cognition Comput. 2: 333-354, 2000.
22. 土屋 淳, 辻 宏道: 新・GPS 測定の基礎. (社)日本測量協会, 東京, 2002, pp. 88-89.

小西 孝史 (コニシ タカシ)

2001 年新潟大学工学部情報工学科卒業。2003 年同大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。現在、同大学大学院自然科学研究科博士後期課程在学中。地理情報システムを用いた視覚障害者歩行補助に関する研究に従事。



地理情報システム学会の学生会員。

前田 義信 (マエダ ヨシノブ)

1993 年大阪大学基礎工学部生物工学科卒業。1998 年同大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。1998 年新潟大学工学部福祉人間工学科助手。2005 年新潟大学自然科学系助教授。2007 年同大准教授。現在に至る。この間、1995-98 年日本学術振興会特別研究員 DC1。2001 年米国 UCSB 研究留学。2007 年広島大学客員准教授。福祉情報・生体情報システムに関する研究に従事。博士(工学)。



電子情報通信学会, 日本生活支援工学会, 情報処理学会, 日本生体医工学会の会員。

田野 英一 (タノ エイチ)

2002 年新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。新潟職業能力開発短期大学校 電子技術科 (1991 年 4 月～2002 年 2 月) を経て、2002 年 3 月から関東職業能力開発大学校 生産電子システム技術科。職業訓練指導員。電子工学を応用した福祉機器開発に興味を持つ。博士(工学)。



電子情報通信学会, 日本生活支援工学会, 日本航海学会 各会員。

牧野 秀夫 (マキノ ヒデオ)

1976 年新潟大学工学部電子工学科卒業。1978 年同大学院修士課程了。同年情報工学科勤務。1990 年助教授。1995 年教授。現在に至る。この間、83 年より 1 年間、北大・応電研・生体制御部門において信号処理の研究に従事。89 年より 1 年間、カナダ・トロント大学医学部において生体信号処理の研究に従事。福祉・医療情報機器の研究を行っている。工学博士。



日本生体医工学会, 電気学会, 電子情報通信学会, IEEE 各会員, 日本不整脈学会評議員, 地理情報システム学会理事。