

ランドマークの視認状況に基づく 歩行者の位置特定システム

A Location System for Pedestrians
based on Landmark Visibility Statuses

多賀 大泰^{*} 高橋 直久^{*}

Hiroyasu TAGA Naohisa TAKAHASHI

本論文では、歩行者が周りに見えるランドマークの状況（ランドマーク視認状況と呼ぶ）から、歩行者の現在地を求めるシステムを提案する。提案システムでは、三次元地図データを用いて、ある領域において、ランドマークが視認可能な地点、および、その地点からランドマークが見える方向を示すランドマーク視認マップを生成する。また、視認可能なランドマークに関して、簡単な質問応答により、歩行者の視認状況を認識し、その結果に従いランドマーク視認マップを探索して歩行者の現在地を特定する。本稿では、提案方式のプロトタイプを実装し、東京都渋谷と名古屋市栄の2地点に適用した場合の提案方式の有効性を検証した。

This paper presents a location system with a landmark visibility map. The features of the proposed system are as follows: The proposed system creates a landmark visibility map(LVMap) from three-dimensional map data. The LVMap represents the locations of a landmark which can be watched of each location and the direction in which the landmark is seen. It recognizes a landmark visibility status for a pedestrian by making easy questions concerning visible landmarks, and by eliciting the landmark visibility status from pedestrian answers. It computes a set of locations whose landmark visibility statuses are equal to that of a pedestrian, and identifies pedestrian's current location. We evaluated the feasibility of proposed system by several experiments.

1. はじめに

近年、GPS 内蔵の携帯電話など携帯端末を利用した歩行者ナビゲーションが普及しつつある。また、準天頂衛星を用いた高精度な位置特定[1]、あるいは、RFID タグを用いた位置特定[2]など位置特定に関する研究が活発に行われている。我々は GPS や RFID タグなどの特別な位置特定装置を用いず、建造物を目印として歩行者を目的地の方向に誘導可能にする歩行者ナビの実現を目指している[3]。本論文では、このような歩行者ナビ実現の基礎となる位置特定システムを提案する。提案システムでは、歩行者と見えるランドマークとの位置関係を示したランドマーク視認マップを用いる。ここで、ランドマークとは、ある地域において形状や高さが他と大きく異なる建造物であり、多くの人々が、離れた所からでも、その所在を容易に認識できる建造物のことをいう。また、本システムは、歩行者から見えるランドマークの様子(こ

れを歩行者が現在地から見えるランドマークと、その方向、およびその外観により表し、視認状況とよぶ。)を認識することにより、歩行者の位置を特定する。

提案システムの特徴は、次の4点にある。

【特徴-1】 三次元地図データを用いてランドマーク視認マップを生成する機能を実現する。これにより、歩行者の視認状況が分かったとき、元の三次元地図データに比べ、比較的少量のデータを用いて、高速に歩行者の位置を特定可能になる。

【特徴-2】 視認可能なランドマークに関して、簡単な質問応答により、歩行者の視認状況を認識する機能を実現する。これにより、歩行者にとって比較的小さい負担により、現在地における視認状況を認識することが可能になる。

【特徴-3】 ランドマーク視認マップを用いて、歩行者の視認状況と等しい視認状況を与える地点の集合を求める機能を実現する。これにより、歩行者の現在地の候補集合を求めることが可能になる。

【特徴-4】 歩行者に視認状況の変化を繰り返し問合せることにより、現在地の候補集合を絞り込む機能を実現する。これにより、歩行者の現在地を特定することが可能になる。

2. 提案システムの実現法

2.1 提案システムの概要

提案システムは、以下に示す歩行者の視認状況 V を認識することにより、歩行者の位置を特定する。

$$V = \{(L_i, [d_i / \text{image}_i])\}$$

- ・ L_i : 視認可能なランドマークの識別子
- ・ d_i : ランドマーク L_i が見える方向
- ・ image_i : ランドマーク L_i の外観

$[d_i / \text{image}_i]$ は、 d_i と image_i の両方、あるいはいずれか一方を省略可能であることを意味する。また、歩行者がコンパスを持っていないとき、「北」や「南東」といった方向(絶対方向とよぶ)を認識することは困難である。そこで d として、歩行者が向いている方向に対してランドマークの見える方向(相対方向とよぶ)を用いる。例えば、ランドマーク L_1 が前方に、 L_2 が後方に見えるとき、視認状況は、 $V = \{(L_1, \text{前方}), (L_2, \text{後方})\}$ となる。なお、提案システムによる位置特定は、セグメントの特定を意味する。セグメントとは、道路地図データをもとに一本の道路を、建物が「見えるようになる」、「見えなくなる」、「見える方向が変わる」地点で区切ったものである。任意の2地点 $N_{i,1} = (x_{i,1}, y_{i,1})$ 、 $N_{i,2} = (x_{i,2}, y_{i,2})$ を両端とするセグメントを、 $S_i = (N_{i,1}, N_{i,2})$ と表す。

提案システムによる位置特定の手順を以下に示す。

- (1) 歩行者の現在地を含む領域 R を求める。
 - A) 多くの場合、歩行者は、現在地が東京か名古屋か、あるいはもう少し詳細な領域のどこにいるが分かっているので、歩行者がこれらの領域を R として指定する。
 - B) 歩行者があらかじめ最寄りの駅名等を指定し、その駅の近傍領域を R とする。
 - C) 一定時間前の歩行者の位置と歩行速度から推定される領域を R とする。
- (2) 提案システムが R 内のランドマークの外観を提示する。
- (3) 歩行者が、提示されたランドマークから、実際に視認可能なランドマーク L_i を選択して、視認状況 V を作成し、提案システムに報告する。
- (4) 提案システムが、視認状況 V を与える位置(セグメント) S の集合を求める。
- (5) 提案システムは、位置 S の集合の要素数が 1 のとき、その地点を歩行者の現在地と判定する。そうでない場合は、 R

^{*}学生会員 名古屋工業大学大学院工学研究科博士前期課程
taga@moss.elcom.ac.jp

^{*}正会員 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻
naohisa@nitech.ac.jp

内における L_i 以外のランドマークの外観を提示する。
 (6) 歩行者が、提示されたランドマークから、実際に視認可能なランドマーク L_i を選択して、視認状況 V' を作成し、提案システムに報告する。

(4)から(6)を、位置 S の集合の要素数が1になるまで繰り返すことにより、歩行者の位置を特定する。

(3)と(6)において、歩行者が視認状況を作成するとき、次のような誤りを犯す場合がある。

- 【状況-1】ランドマークを他の建物と間違える
- 【状況-2】ランドマークの見える方向を間違える
- 【状況-3】ランドマークの外観を間違える

提案システムでは、ランドマークの見える方向を、一方向45度間隔の8方向(後方, 右後方など)に区切って用いる。このため、たとえばランドマークが「前方」と「右前方」の境界付近で「前方」側にあるとき、歩行者は「右前方」と指定する可能性がある。このような場合を考慮して、上記の3つの状況での誤りのうち、歩行者が状況-2において隣の方向に間違えた場合でも、その数が指定された誤り許容数 C_m 以下の場合には歩行者の位置を正しく特定できるようにする。

2.2 提案システムの構成

提案システムは、図1に示すように、ランドマーク視認マップの生成、質問提示、地点集合の導出、位置絞込みの4つの機能からなる。以下に各機能の概要を示す。各機能の詳細は文献[5]を参照されたい。

【機能-1】ランドマーク視認マップの生成機能

ランドマーク視認マップは、三次元地図データと道路地図データから、視認可能な建造物から位置特定を行うために必要なデータを生成して格納するものである。提案システムは、このマップを位置特定の前にあらかじめ作成しておく。これにより、元の2つの地図データに比べ、比較的少量のデータを用いて、高速な歩行者の位置特定を可能にする。ランドマーク視認マップは、次の3つから成る。

(1)ランドマーク視認マトリクス(LVM)

LVMは、表1に示すように、地図上の各地点において、どのランドマーク(L)がどの方向(D)に見えるのかを表したものである。具体的には、LVMの第j行はランドマーク L_j に対する視認可能セグメントを、第i列はセグメント S_i における視認可能ランドマークを表す。なお、LVMにおける方向Dは、絶対方向(例えばNE:北東など)である。

(2)ランドマーク定義表(Ld)

Ldは、表2に示すように、ランドマークの名前や位置などの特徴を表すデータからなる。

(3)セグメント定義表(Sd)

セグメント定義表(Sd:表3)は、セグメントの位置を表すノードなどの特徴を表すデータからなる。

【機能-2】視認可能なランドマークに関する質問提示機能
 視認状況に関して、歩行者が直感的に回答可能な質問を提示する。この質問の回答により、システムは歩行者の視認状況 V を認識する。

視認状況は以下の3通りの方法で指定できるようにする。

- 【指定方法 a-1】視認可能なランドマーク(L)を指定
- 【指定方法 a-2】ランドマークが見える方向(d)を指定
- 【指定方法 a-3】ランドマークの外観(image)を指定

【機能-3】視認状況からの地点集合の導出機能

複数の地点で、視認可能なランドマークとその方向が、同じになる場合がある。すなわち、LVMでは、複数のセグメントにおいて、視認可能ランドマークが等しくなり得る。本機

能では、視認状況 $V=\{(L_i, [d_i/image_i])\}$ のとき、歩行者のいる領域R内で視認可能ランドマークが $(L_i, [d_i/image_i])$ となるセグメントの集合を求めらる。

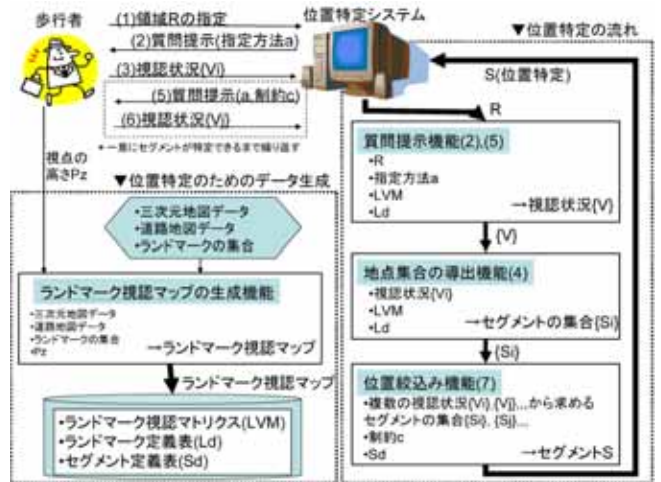


図1 提案システムの構成

Fig. 1 Structure of the Proposed System

表1 ランドマーク視認マトリクス(LVM)

Table 1 Landmark Visibility Matrix (LM)

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	
L_1	N	N						
L_2	NE	NE	NE	NE	E			
L_3		S	S					

表2 ランドマーク定義表(Ld)

Table 2 Landmark Definition Table (Ld)

ID	名前	位置	高度	画像名(N)	画像名(NE)	..
L_1	住友ビル	(X_1, Y_1, Z_1)	35m	1N.jpg	1NE.jpg	
L_2	名古屋ビル	(X_2, Y_2, Z_2)	40m	2N.jpg	2NE.jpg	
L_3	JRタワー	(X_3, Y_3, Z_3)	80m	3N.jpg	3NE.jpg	

表3 セグメント定義表(Sd)

Table 3 Segment Definition Table (Sd)

ID	始点	終点	道路幅	道路名
S_1	N_1	N_2	5m	地方道
S_2	N_2	N_3	5m	地方道
S_3	N_2	N_5	10m	県道

【機能-4】複数の視認状況からの位置絞込み機能

2つの視認状況 V_1, V_2 が与えられると、機能-3を用いてそれぞれの視認状況から地点集合 $\{S_1\}, \{S_2\}$ が求められる。そして、この地点集合 $\{S_1\}, \{S_2\}$ から、視認状況 V_1, V_2 を与えるセグメント間の制約(例えば、隣接している、100m以内にあるなど)を満たすセグメントの対 (S_1', S_2') を計算し、現在のセグメント S_2' を求める。

ここでは、以下の3つの制約について絞込み機能を実現する。なお、2つの視認状況 V_1, V_2 は、これらの制約に従って V_1 の後に V_2 が指定されるものとする。そして、視認状況 V_1 を与えるセグメント S' は、地点P、時間t、視認可能ランドマーク $\{(L_i, [d_i/image_i])\}$ とする。

【連続性制約】視認可能ランドマークが変化するまで歩行者が歩行了るとき

【距離制約】歩行者の視認状況 V_1 を報告した地点から一定の距離を進んだとき

【時間制約】歩行者が視認状況 V_1 を報告した時刻から一定の

時間 (秒)が経過したとき(歩行者の最大歩行速度が既知で、秒後に到達可能な範囲が推定可能であるとすると)

これら 4 つの機能により、歩行者の位置特定、つまりセグメント S_2 'の導出が可能である。

2.3 ランドマーク視認マトリクス (LVM)の生成

LVM は、各セグメントに対してランドマークが見える方向を表す。道路地図データ(交差点等を表すノードと、道路を表すリンクを用いて道路網を表現した地図データ)と三次元地図データ(道路などの二次元情報に加え、ビルの高さなどの三次元情報、および、色彩など都市形状を再現した地図データ)、ランドマークの集合、歩行者の視点の高さ h から以下の手順で LVM 生成する。

[Step1] ランドマークの形状近似

ランドマークの形状を、そのランドマークを包含する直方体の 8 つの頂点の 3 次元座標で近似する。

[Step2] 視点とランドマークの関係の計算

視点 P からランドマーク L が見えるか(視認性 v)、見える方向 (D) を三次元地図データにより求める。このとき、視点 P からランドマークの頂点を結ぶ直線上に他の建物がないか調べ、建物がない場合には視認可能($v=true$)と判定し、建物がある場合に視認不能($v=false$)と判定する。視認可能な場合には、視点からランドマークの頂点に向かう方向 D を求める。 D は、東西南北の方向を 45 度間隔に分けてできる 8 方向 (N, NE, \dots, NW) から選択する。

[Step3] セグメントとランドマークの関係の計算

道路のセグメントを S (端点を N_1, N_2 とする)、視点 P (地上からの高さ h) の間隔を P_s 、ランドマークを L として、 S 上の各地点 P_i における L の視認性と方向からなる集合 $\{(v, D)_i\}$ を求める。このとき、まず、端 N_1, N_2 をつなぐ線分で、 P_s 間隔に区切ったときの点の座標の集合 $\{(x, y, h)\}$ を求める。次に、 $\{(x, y, h)\}$ のそれぞれの点から L を視認可能か判定し、セグメント S に対して $\{(v, D)_i\}$ を求める。

[Step4] セグメントとランドマーク集合との関係の計算

セグメント S 、ランドマークの集合 $\{L_i\}$ に対して、ステップ 3 の計算により、 S 上の視点 P_i におけるランドマーク L_i の視認性と方向を求め、その結果を第 i 行とするランドマーク視認マトリクス LVM を求める。

ただし、すべてのランドマーク ($i=1, 2, \dots, J$) に対し、LVM の第 i 行 j 列要素と i 行 $j+1$ 列要素が等しいときは、第 j 列と第 $j+1$ 列をまとめる。すなわち、同じランドマークが同じ方向に見える 2 地点 P_j と P_{j+1} をひとまとめ(一つのセグメント)にする。これにより、位置特定に必要な情報を残しつつ、LVM のサイズを縮小し、計算にかかる時間を減らす。

3. 実験と考察

歩行者は提案システムが提示した質問に対し、回答することで視認状況を提案システムに伝える。ここでは、V1(見えるランドマーク)と V2(ランドマークの見える方向)、V3(見えるランドマークの外観)の 3 つの質問提示方法について、位置特定に必要な視認状況の数を調べる。これにより、各質問提示方法により位置特定に必要な平均歩行距離を求める。

3.1 実験環境

実験の対象地域として、図 2 に示す東京都渋谷(渋谷駅近辺)と名古屋市栄、2 地域(各 1 平方 km)を用いた。また、両地域におけるランドマーク視認マップの詳細を表 4 に示す。ただし、2 地域のランドマーク視認マップの生成には 3 次元地図データを用いた。ランドマークの選択は、使用した三次元地図データ(MapCube[4])に従った。

3.2 実験方法

歩行者が 2 つの実験対象地域において、各道路上のセグメントにいるときに見えるランドマークとその方向、外観を視認状況として提案システムに伝えた場合に、位置特定が可能であるか求める。図 3 に提案システムが歩行者に提示する視認状況に関する質問の例を示す。この質問に対し、それぞれ歩行者が視認状況を指定する。

予備実験により、誤差許容数 $C_m=1$ のとき、実験対象の 2 つの地域では 98% 以上のセグメントにおいて位置特定可能であることが分かった[5]。このため、本実験では、誤差を考慮する場合は $C_m=1$ とする。



図 2 位置特定実験対象地域

Fig. 2 Selected Areas for Location Experiments

表 4 実験に用いたランドマーク視認マップ

Table 4 Landmark Visibility Map for Experiments

実験対象地域	名古屋市栄	東京渋谷
メッシュ(250m 四方)数	16	16
構造物オブジェクト数	1925	4080
ランドマーク数	11	14
視認判定観測数	1967	2037
セグメント数	946	902
平均セグメント長(m)	20.8	22.6
平均視認可能ランドマーク数	3.9	1.5

建造物オブジェクト数は、三次元地図データにおける建造物の形状データ数であり、視認判定観測数は、LVM を作成する際に道路を区切ってできる視点の数である。ただし、一つの建造物は複数の形状データで構成される場合がある。また、道路を区切る間隔は 10m であり、その場合の一セグメントの平均の長さを平均セグメント長としている。なお、平均視認可能ランドマーク数は、全セグメントにおいて視認可能なランドマーク数の平均を表す。

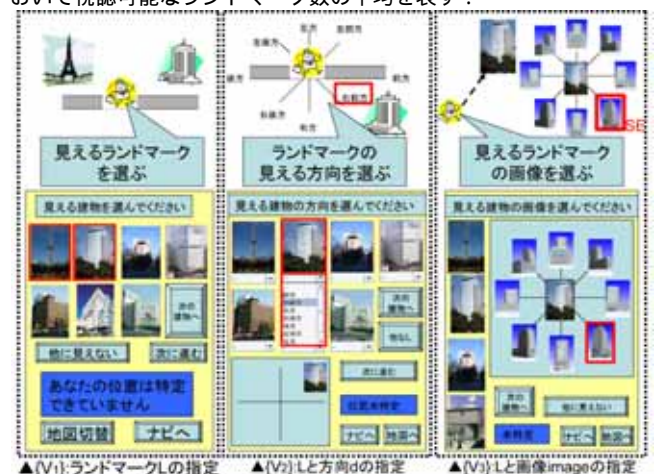


図 3 視認状況に関する質問提示の例

Fig. 3 Examples of Queries about Visibility Status

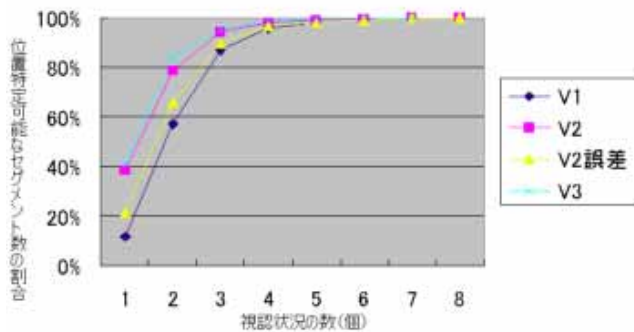


図4 位置特定可能なセグメント数の割合（栄の場合）
Fig. 4 Percentage of Segments Identified as the Location of the Pedestrian in case of Sakae

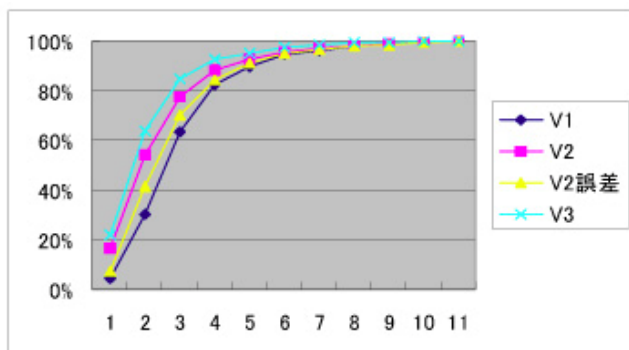


図5 位置特定可能なセグメント数の割合（渋谷の場合）
Fig. 5 Percentage of Segments Identified as the Location of the Pedestrian in case of Shibuya

表5 位置特定に必要な視認状況の平均数

Table 5 Average Number of Visibility Statues for Location

	V1	V2	V2 誤差	V3
名古屋市栄	2.5	1.9	2.3	1.8
東京都渋谷	3.4	2.5	3.2	2.5

表6 セグメントの特定に必要な平均歩行距離(m)

Table 6 Average Distance for Segment Identification

	V1	V2	V2 誤差	V3
名古屋市栄	26.0	19.8	23.9	18.7
東京都渋谷	38.4	31.6	36.2	28.3

3.3 実験結果と考察

図2に示した2つの地域「名古屋市栄」と「東京都渋谷」について、歩行者の位置特定をそれぞれ、図4と図5に示す。図で、横軸は位置特定に用いた視認状況の数*i*を示し、縦軸は全セグメント数に対して*i*個の視認状況を用いてセグメントが一意的に特定できた割合を示す。図では、視認状況の各指定方法(V1, V2, V3)について、それぞれ位置特定結果を示している。また、V2については、誤差($C_m=1$ の場合)を考慮した場合の結果を「V2 誤差」として示している。

図から、栄と渋谷の両地域に対して、視認状況をどのように指定しても、複数の視認状況を用いると、位置特定可能なセグメント数の割合が100%になることがわかる。つまり、両地域のどの位置においても、複数地点の視認状況を用いると、1つのセグメントに歩行者の位置が特定可能であることが示された。また、ランドマークを見える方向を指定したと

きに誤りがある場合(V2 誤差)でも、同様に位置特定可能であることがわかった。

ただし、誤差がない場合と比較すると、V3のLとimageを指定する場合が最も少ない視認状況の数で、高い位置特定可能なセグメント数の割合を示した。よって、他の指定方法よりも、位置特定において最も効果的な指定方法であることが明らかになった。

また、全てのセグメントにおいて位置特定を行う場合に必要視認状況の数の平均値を表5に示す。これより、どの指定方法に対しても、必要視認状況の数の平均値は、栄で2個前後、渋谷で3個前後であった。よって、多くのセグメントにおいて、位置特定に必要な視認状況の数は2, 3個と比較的少ないため、質問提示に回答する歩行者の操作が少なく済むことが期待される。また、表5からセグメントを一意的に特定するために必要な平均歩行距離を求めると表6のようになった。これより、歩行者が回答するために歩く必要がある歩行距離が、20mから30m程度であることから歩行者の負担はそれほど大きくないことがわかった。

4. おわりに

本論文では、歩行者が周りに見えるランドマークの様子(視認状況)から、歩行者の現在地を求めるシステムを提案した。提案システムでは、三次元地図データを用いて各地点での視認状況をデータベース化しておき、歩行者の視認状況に合致する地点を探索する機能を実現している。実験により、名古屋市栄と東京都渋谷の2地域において、視認状況から位置特定が可能であることが示された。また、視認状況の各指定方法に対し、位置特定に必要な視認状況の数を比較し、有効な指定方法の検証を行った。

今後、提案システムを用いたナビゲーション方式について検討を進める。

【謝辞】

本研究の一部は人工知能研究振興財団の研究助成による。

【文献】

- [1] 江州秀人：準天頂衛星測位・通信システムの開発，国土技術政策総合研究所研究評価委員会平成14年度分科会報告書。
- [2] 森嶋健平，今野貴洋，渡部修平：RFIDによる位置情報技術，NTT COMMWARE TECHNOLOGY 2004。
- [3] 多賀大泰，高橋直久：3D地図を用いたランドマーク視認マップの生成と歩行者ナビゲーションへの適用，平成17年度電気関係学会東海支部連合大会(2005)。
- [4] MapCube, <http://www.mapcube.jp/index1.html>。
- [5] 多賀大泰，高橋直久：ランドマーク視認マップを用いた位置特定システムの実現，電子情報通信学会第17回データ工学ワークショップ(DEWS2006)，4B-06(2006)。

多賀 大泰 Hiroyasu TAGA

2006年名古屋市工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年トヨタ自動車(株)入社。学生時代に位置情報処理システムの研究に従事。情報処理学会学生会員。日本データベース学会学生会員。

高橋 直久 Naohisa TAKAHASHI

名古屋市工業大学大学院工学研究科教授。1976年電気通信大学大学院修士課程修了。同年、日本電信電話会社(現NTT)武蔵野電気通信研究所入所。2001年より現職。ネットワークコンピューティング、時空間情報処理等の研究に従事。工学博士(東工大)。ACM, IEEE, 情報処理学会等会員。