

## 時系列センサデータからのセンサ隣接関係の可視化

中村 和志<sup>†</sup> 福井 健一<sup>††</sup> 森山 甲一<sup>††</sup> 栗原 聡<sup>††</sup> 沼尾 正行<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学情報科学研究科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

<sup>††</sup> 大阪大学産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

E-mail: †{nakamura,fukui,koichi,kurihara,numao}@ai.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし ユビキタス環境下で、人間と環境との新しいインタラクションの枠組を構築するのに有用な、時系列データからのセンサ隣接関係の可視化手法を提案する。大規模センサネットワーク環境に及ぼす人間の習慣的行動パターンなどを抽出/学習するとともに、各種インタラクションデバイスを設置して適切なタイミングかつ適切な場所にて対象の各人にインタラクションを実行できるようなユビキタス環境の実現には、入念な事前設定を不要とする、センサネットワークの自動コンフィギュレーションが必要になると思われる。本論では実験的に多くのセンサノードを設置した環境で、センサネットワークの論理的隣接関係を、地理的情報無しでも、時系列発火データのみから抽出し、可視化する試みについて述べる。

キーワード ユビキタスシステム, センサネットワーク, 可視化, ノイズ除去

## A visualization method of sensor's relationship from chronological order of sensor data

Kazushi NAKAMURA<sup>†</sup>, Ken-ichi FUKUI<sup>††</sup>, Koichi MORIYAMA<sup>††</sup>, Satoshi KURIHARA<sup>††</sup>, and Masayuki NUMAO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University  
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan

<sup>††</sup> The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan

E-mail: †{nakamura,fukui,koichi,kurihara,numao}@ai.sanken.osaka-u.ac.jp

**Abstract** We propose the visualization method of sensor's relationship from chronological order of sensor data, without elaborate prior configuration or geometrical information of sensors. It is useful to build a frame of new interaction in ubiquitous environment. We extract a human custom action pattern to give it to sensor network environment and learn it, and ubiquitous environment offering appropriate services to is demanded. It seems that automatic configuration of a massively sensor network becomes need for ubiquitous environmental realization. In this paper, we describe a trial to extract relationship of the experimental sensor network and visualize it.

**Key words** ubiquitous system, sensor-network, visualization, noise reduction

### 1. はじめに

近年のコンピュータの小型・高性能・省電力化や IPv6 の登場、また IEEE802.11 を始めとする各種無線技術の進展や RFID などの無線タグの実用化によって、センサネットワークシステムやユビキタスコンピューティングに関する研究が大いに注目

されている。そして、現在までに提案されている多くのユビキタスシステムの目的が「仮想世界の情報を実環境の物理性を利用して提示・操作すること」であると言える [3]。これに対し、多数のセンサ・プロセッサやコンピュータ・アクチュエータなどのデバイス群が遍在する実環境において、人間と環境とが共鳴による Human-Environment Interaction の枠組みを構築

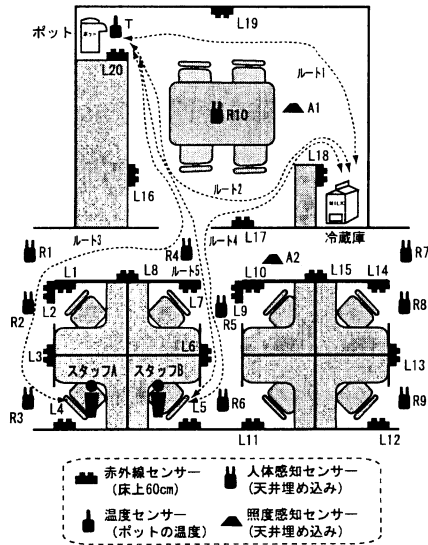


図1 センサー配置例

することを目的とする。Organic Entia Project が遂行中である [1]。これは、実世界の物体に起因する様々なデータそのものと人のインタラクションを成立させるためのインタフェースの構築を目的としている。

実験的に設置したセンサーネットワークからのセンサー間の隣接関係抽出と、その可視化について述べる。

## 2. センサーネットワークによる人間行動抽出

人と環境との間で共鳴のような関係を構築するためには、まずは、(1) 人の習慣的行動パターンや癖などを知覚するためのセンサーネットワークを設置し、(2) 得られたセンサーデータから上記習慣的行動パターンなどを抽出することが必要である。

図1を想定する(居室とミーティング室を基本的に描いたもの)。赤外線センサー(L1~L20)はセンサーから約1.5mまでの距離においてセンサーを横切ることを検知できる。また温度センサー(T)はポットの温度を計測、人体感知センサー(R1~R10)は人体から発せられる赤外線を検知する。そして照度センサー(A1はミーティング室、A2は居室)は部屋の明るさを計測する。実際には図2, 3に示すように、ドアや冷蔵庫の扉の開閉を検知するセンサーやポットの場所においてコーヒー等を入れる際のの匂いを感知するセンサーなども設置してある。

ここで、図中のスタッフAがコーヒーを飲むと自席からポットまでルート3のように移動したとする。この場合、L4→L3→L2→L18→L16→L20の順で赤外線センサーが反応する。このような赤外線センサーの反応時系列のログを蓄積し、その中から何度も繰り返し出現する反応時系列を抽出することで、習慣的な行動パターンを獲得することができる。ここで、L4→L3→L2→L18→L16→L20が習慣的に出現する反応時系列として抽出されたとする。その際、環境の状態を検知するセンサー(温度や照度など)の情報と、反応時系列が発生

した時刻並びに反応時系列に沿ってスタッフAが移動に要した時間とを加味した一連のデータを、次に示す一つのリスト形式の行動系列として蓄積する。

### 【行動系列】

$\langle \{MR\}(t, p) : S_1(v_1)\{SR_a\}, S_2(v_2)\{SR_b\}, \dots \rangle$

MRは反応した赤外線センサーの時系列、 $t$ はMR発生時刻、 $p$ はこの行動系列が発生してから完了するまでに要した時間、 $S(v)$ は状態を検知するセンサー $S$ とその値 $v$ 、SRはMRの部分集合である。例えば8月20日午前10時23分に開始され、1分でL4からL20までが反応した場合のスタッフAの行動は、

$\langle \{L4, L3, L2, L18, L16, L20\}(8/20/10/23, 1) : T(high)\{L20\}, A_1(on)\{L16, L20\}, A_2(on)\{L4, L3, L2, L18\} \rangle$

となる。この例では、温度センサーTと位置的に関連する位置センサーとしてL20、照度センサーA1と関連する位置センサーとしてL16, L20、そして照度センサーA2と関連する位置センサーとしてL4, L3, L2, L18が既知となっている<sup>(注1)</sup>。

タイムスタンプである $t$ 項が必要である理由は、時間帯による人の行動パターンの顕著な差異が存在するからである。例えば、上記行動系列においても時刻の項が(8/21/07/10, 1)という系列が早朝においては習慣的行動パターンとして多く取得される。朝一番に出社したスタッフはミーティング室の照明をonにし、ポットに給水してから煮沸スイッチを入れなければならないからである。つまり、早朝一番に出社したスタッフにとっては、 $\{T(low), A_1(off), A_2(on)\}$ の状態は正常であり奇異に感じることはないものの、二番目に出社したスタッフにとっては、 $\{T(low), A_1(on), A_2(on)\}$ は、一番目に出社したスタッフがポットの給水か煮沸スイッチのonを忘れていた可能性を示すものであり、 $\{T(low), A_1(off), A_2(on)\}$ と思い込んでコーヒーを入れにL20まで移動した時点で、沸いておらず困惑することとなる。

## 3. 初期実験

設置した位置センサーは図1に示す「赤外線センサー」と「人体感知センサー」である(図2参照)。状態センサーとしてはポットに設置した「温度センサー」と「匂いセンサー」、そして冷蔵庫やミーティング室などにおける開閉部分に対して「ドア開閉検知センサー」を設置した(図3参照)。現在センサーネットワークは稼働しており、これまでに数カ月分のデータが収集されている。有効反応距離の比較的最長い赤外線センサーを手に入れたことにより、特にノイズや誤動作の問題は発生していない。

(注1) : 状態センサーと位置センサーとの関係も、センサーデータからのデータマイニング等によって抽出することも本研究の目的であるが、その方法等については議論しない。



図2 赤外線センサー(左)と人体感知センサー(右)

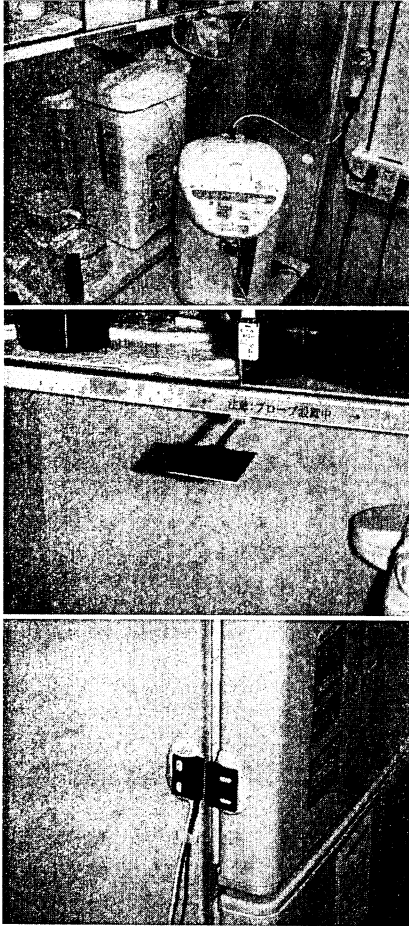


図3 温度センサー(上), 匂いセンサー(中), ドア開閉検知センサー(下)

まずは、設置した各種センサーからの数日分のログから、隣接するセンサー情報の取得を試みた。あるセンサーAが反応した時刻 $t$ の直前直後でもっとも反応があったセンサーBがセンサーAに隣接するセンサーであるとする最も簡潔な基準にてログを解析し、頻度上位3ノードに対しリンクを張ったところ、2週間程度のログからでも図4に示すようなグラフを得ることが出来た。

#### 4. センサー隣接関係の可視化

ユビキタスサービスを実現するには、人やモノの位置を知る事が必要不可欠であるが、多くのシステムは正確な位置情報を得るために入念な事前設定が必要になってしまう。

これに対し、時系列センサー発火データから、センサー間の隣接関係を自動構成することを目指す。また、その結果を直観的に理解しやすいように可視化する手法を述べる。

##### 4.1 初期実験からの改良点

図4では、ノイズ等により、n12-sugawara間や、n11-coffee間のような間違った隣接関係も描画されてしまっている。逆に、多くのセンサーノードと隣接関係を持つノードの場合、4本目以降のリンクが無視されてしまっている可能性がある。

では何本目までのリンクを描画するのが可視化に適切であろうか?それは、各ノードの頻度分布によって変化するものと思われる。

頻度分布の上位と下位(ノイズ)を如何に切り分けるべきか、またそうやって求めた隣接関係が、前節初期実験の手法より良い可視化を提供する手法について述べる。

本研究では、1ヶ月間の時系列センサー発火データだけから、近接度行列を求め、単純なノイズ除去を施し、これを基にネットワークグラフ描画ツール **otter** を用いて可視化した。

##### 4.2 近接度行列

隣接して発火しているセンサー $i, j$ について、その発火時刻を $t_i, t_j$ とすると、時間差 $D(t_i, t_j)$ を、

$$d(t_i, t_j) = \begin{cases} |t_i - t_j| & \text{if } |t_i - t_j| < \text{threshold} \\ \text{null} & \text{otherwise} \end{cases}$$

と定義する。今回は  $\text{threshold} = 30.0$  秒とした。

その平均時間を $\overline{d_{ij}}$ とすると、近接度行列 $D(i, j)$ は、

$$D(i, j) = \begin{pmatrix} - & \overline{d_{12}} & \overline{d_{13}} & \dots & \overline{d_{1n}} \\ \overline{d_{21}} & - & \overline{d_{23}} & \dots & \overline{d_{2n}} \\ \overline{d_{31}} & \overline{d_{32}} & - & \dots & \overline{d_{3n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{d_{n1}} & \overline{d_{n2}} & \overline{d_{n3}} & \dots & - \end{pmatrix}$$

と定義される。

この近接度行列をセンサー間の距離としてセンサーの隣接関係マップを可視化する。

ところが、単純に近接度行列を基にノード間の距離を与えて描画させただけでは、図5のように、ノイズによりほとんどのノードが繋がってしまい、可視化として意味をなさない。

##### 4.3 ヒストグラムの傾きによるノイズ除去

前節の近接度行列に基づいてセンサーの隣接関係マップを描画すると、本実験のように各個人のIDを識別していないセンサーネットワークでは、複数の人間が偶然、ほぼ同時に行動すると各々の行動を区別できない。時系列センサーデータには、区別できない発火系列がノイズとして記録されてしまう問題が

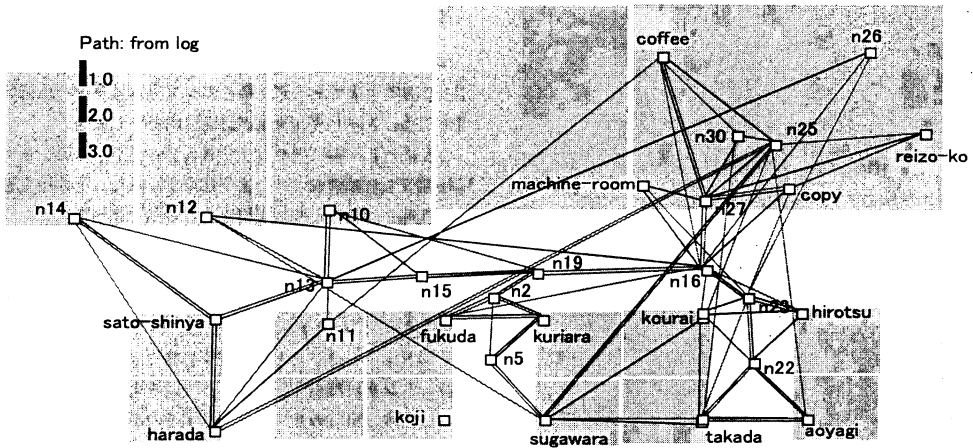


図4 抽出された隣接センサー関係を示すグラフ

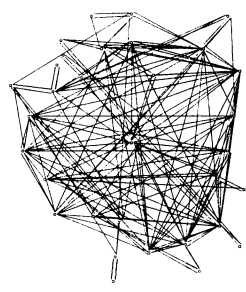


図5 近接度マップ1

センサ	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位
1	4:1643	8: 219	12: 169	30: 158	32: 136	19: 96	14: 87	20: 59
2	7: 105	10: 21	5: 20	23: 18	4: 16	22: 13	8: 13	1: 11
3	8: 442	1: 57	4: 36	7: 32	20: 31	19: 22	30: 18	23: 15
4	1:1626	19: 879	32: 767	30: 263	20: 78	23: 73	12: 55	8: 55
5	7: 23	2: 10	25: 5	8: 3	1: 3	32: 3	30: 2	10: 2
6	8: 51	3: 18	7: 10	1: 7	17: 6	4: 4	31: 4	19: 3
7	8: 143	2: 125	5: 16	19: 13	6: 11	23: 11	4: 10	3: 10
8	3: 470	1: 212	7: 137	12: 113	4: 59	14: 57	6: 52	13: 51
9	14: 57	12: 12	1: 6	10: 5	8: 3	23: 3	16: 2	13: 2
10	12: 117	1: 48	25: 41	4: 38	24: 37	16: 33	30: 33	14: 22
11	1: 1	8: 1	10: 1	12: 1	14: 1	16: 1	30: 1	2: 0
12	16: 238	1: 196	14: 155	10: 118	8: 117	13: 91	4: 63	30: 32
13	12: 102	1: 63	8: 47	14: 26	26: 18	4: 17	30: 15	27: 10
14	12: 169	1: 69	8: 50	9: 48	13: 28	10: 22	30: 17	4: 16
15	12: 20	16: 18	10: 14	13: 7	24: 7	26: 6	8: 5	4: 5
16	12: 239	1: 29	10: 28	19: 25	4: 18	30: 18	15: 16	23: 15
17	6: 6	1: 4	19: 4	12: 2	20: 2	23: 2	30: 2	4: 1
18	8: 1	10: 1	3: 0	4: 0	5: 0	6: 0	7: 0	1: 0
19	4: 800	23: 542	20: 520	22: 144	32: 128	1: 116	30: 68	12: 37
20	19: 505	23: 132	4: 71	1: 44	3: 30	30: 30	22: 28	32: 24
21	1: 0	2: 0	3: 0	4: 0	5: 0	6: 0	7: 0	8: 0
22	19: 149	23: 49	24: 39	20: 34	4: 30	32: 20	1: 19	8: 10
23	19: 525	20: 102	4: 76	22: 62	1: 56	30: 45	32: 30	25: 24
24	22: 41	10: 38	1: 24	20: 20	30: 19	19: 16	4: 13	23: 12
25	30: 115	26: 54	10: 31	4: 27	23: 24	32: 23	1: 22	19: 20
26	30: 294	4: 55	25: 47	31: 38	32: 36	1: 34	27: 17	12: 17
27	30: 273	4: 52	1: 40	32: 35	19: 17	26: 15	25: 13	23: 13
28	30: 28	25: 8	19: 7	23: 6	4: 4	1: 4	20: 4	31: 4
29	30: 110	1: 25	32: 25	4: 15	31: 7	10: 5	12: 4	24: 4
30	32:1132	26: 325	4: 299	27: 287	31: 179	1: 152	25: 137	29: 96
31	30: 191	26: 40	1: 26	32: 22	10: 19	25: 18	4: 18	20: 17
32	30:1102	4: 756	1: 154	19: 125	27: 35	29: 34	26: 32	25: 29

図6 度数表

生じる。実際の可視化にあたっては、このようなノイズを取り除く必要が有る。

あるセンサー  $i$  について、発火系列の直前にあるセンサー  $j$  に対し、そのような発火系列が生じた回数を行列  $C(i, j)$  で表すとすると、回数についての頻度行列  $C(i, j)$  が求まる。

あるセンサー  $i$  について頻度順に  $j$  を並べ変えて度数表を作成すると、頻度順に並べた上位 8 ノードまでの度数表は図 6 のように成る。ノード 1~32 までについて、上位 8 位までのノード  $j$  とその回数を  $|j: \text{回数}|$  で表している。

1 位のセンサーノードは突出して多いのでこれを除外して、2 位以下のセンサーノードについてヒストグラム曲線を描くと図 7 のようになる。

このヒストグラム曲線 (図 7) を 2 階微分して、後位から見てヒストグラムのカーブが立ち上がっているところでカットして、それよりヒストグラムが低いのはノイズとして除去した。ただし、あるノードについて少なくとも 1 つのバスは存在するので、頻度トップのノードはノイズとしてカットせず、必ず含むものとした。

こうして近接度行列の残った要素について otter を用いてグラフを描画したところ、図 8 のような近接度マップが得られた。

図 4 に示すようなグラフと比べて、n12-sugawara 間や、n11-coffee 間のようなノイズが減っており、また、n23-n27 や、n5-

fukuda 間の隣接関係が抽出される等、明らかに改善されている。

### 5. まとめ

本研究では、ユビキタス環境を実現するのに必要となるセンサーネットワークの解析・処理手法を、直観的に評価するのに有用となる可視化手法を提案した。また、時系列センサーデータからセンサー隣接関係を数値化し、実際に計測したデータを基に、ノイズを取り除いた隣接関係のグラフを描画・可視化してみた。

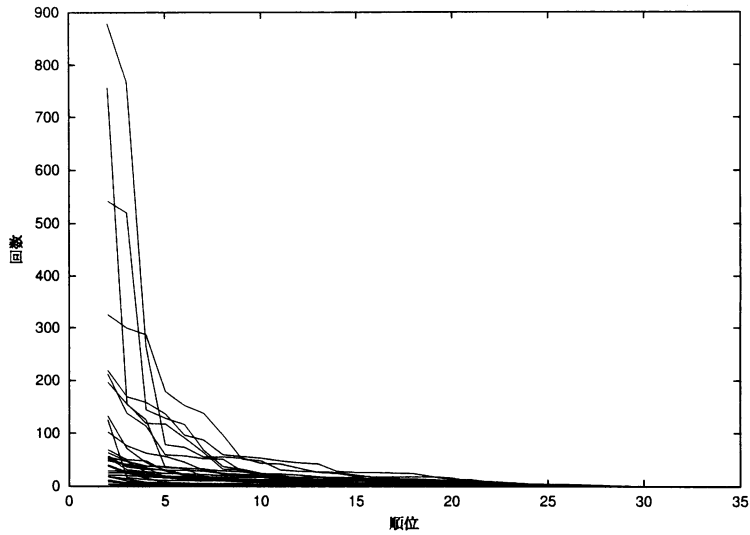


図7 ヒストグラム曲線

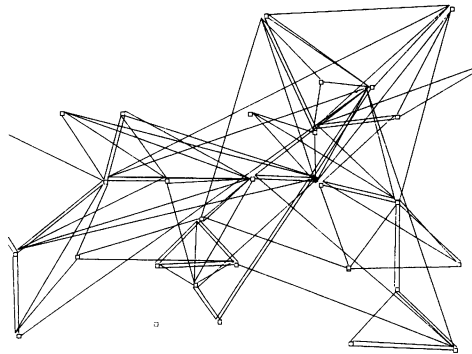


図8 近接度マップ

文 献

- [1] Satoshi Kurihara, Kensuke Fukuda, Toshio Hirotsu, Shigemi Aoyagi, Toshihiro Takada, and Toshiharu Sugawara: Multi-Agent Human-Environment Interaction Framework for The Ubiquitous Environment, First International Workshop, MMAS 2004, Massively Multi-Agent Systems I (LNCS), 2005
- [2] 高田敏弘, 青柳滋己, 栗原聡, 光来健一, 清水奨, 廣津登志夫, 福田健介, 菅原俊治: Proximity Mining: センサデータ履歴からの近接性の発見, 第6回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ [SPA 2003] (2003).
- [3] 中島秀之, 橋田浩一, 森彰, 伊藤日出男, 本村陽一, 車谷浩一, 山本吉伸, 和泉深, 野田五十樹: 情報インフラに基づくグラウンディングとその応用 — サイバーアシストプロジェクトの概要 —, コンピュータソフトウェア, Vol. 18, No. 4, pp. 48-56 (2001).
- [4] Fikes, R. E., and Nilsson, H. J.: STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving, Artificial Intelligence, Vol. 2, pp. 189-208, 1971.
- [5] Maes, P.: The Agent Network Architecture (ANA), SIGART Bulletin, Vol. 2, No. 4, pp. 115-120, 1991.