

携帯電話とバーコードを用いた実世界における人や物の関係ネットワークの分析

Study on extraction and analysis of realworld relations among humans and objects using a cell-phone and a barcode

木村諒史*1
Akifumi KIMURA

福原知宏*2
Tomohiro FUKUHARA

大向一輝*3
Ikki OHMUKAI

武田英明*3
Hideaki TAKEDA

*1 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

Department of Systems Innovation School of Engineering, The University of Tokyo

*2 東京大学人工物工学研究センター

RACE (Research into Artifacts, Center for Engineering) The University of Tokyo

*3 国立情報学研究所

National Institute of Informatics

The purpose of the reserch is to study real world relations among humans and objects. As the system of the experiment, we created a cell phone application which can read barcodes. By using this application, users can describe relations between realworld objects. We had an experiment using this application and made a quantitative analysis on relation networks. Analysis results based on the social network analysis are described.

1. はじめに

ユビキタス社会の実現には、実世界における人や物の情報を人とコンピュータが共有できる環境が必要である [1]。実世界において人や物は属性情報を持ち、それらの中には複雑な関係が存在する。RDF 等はそれらを記述する方法の 1 例と言える [5]。本研究では日常生活の身近な空間において、以下のように物の属性情報や人や物に存在する関係情報を実際に記述する事で、人や物の関係ネットワークをデジタルな形でモデル化する事にした。

「属性の記述」...物に対して「属性名：属性値」の形式で属性情報を登録出来る。属性名も属性値も自由に記述出来る。*1

「関係の記述」...人と物、物と物の関係の 2 種類を考えた。物と物の関係には位置関係、人と物関係では人の物に対する行為や感情を主に記述する。記述する文は関係を登録した人が自由に記述出来る。*2

得られた関係ネットワークの構造を分析する事で、日常生活において人が物にどのように関わっているか調べる事を目的とし、日常生活で中心となる物を見つける事などを考えた。本論文の構成は次の通りである。2. では実験システムについて述べる。3. では実験結果と考察について、4. では本論文のまとめについて述べる。

2. 実験システム

2.1 概要と特徴

図 1 に本研究で構築した実験システムの全体図を示す。まず、商品の既存の 1 次元バーコード (JAN コード) を用いるか、QR コードを物に添付する事で人や物を識別する為の ID を割り振る。次に携帯電話の i アプリを用いてバーコードを読み取り、2 者間の関係情報や、物の属性情報を記述し、サーバ

*1 例：キャベツの属性として「名前：キャベツ」、「色：黄緑色」、「産地：群馬」等と記述。

*2 例：人 A がジュースを飲んだ場合、人 A とジュースの間に「(ジュースを) 飲んだ」と記述。パソコンにマウスが接続されている時、パソコンとマウスの間に「接続している」と記述。

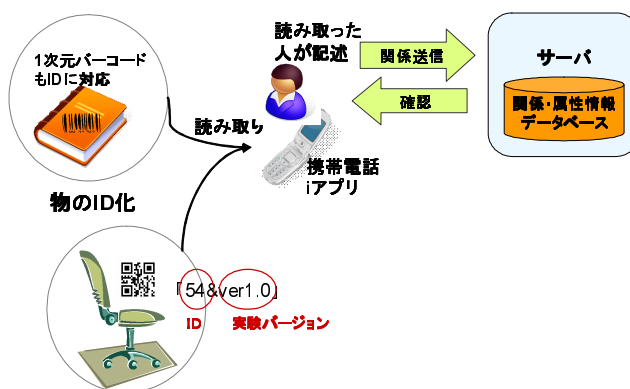


図 1: 実験システム全体図

に送信する。蓄積したデータは Web インタフェース上で確認できる。本手法のメリットは、QR コードが RFID タグ等に比べ作成し易い事、バーコードリーダとなる携帯電話が多く普及している事、携帯電話は人と共に移動するので読み取る場所や時刻についてより実世界に密着したデータを得られる事にある。以下で図 1 中の人や物の ID 化、i アプリ、サーバシステムについて詳しく述べる。

2.2 人や物の ID 化

QR コードには、「54&ver1.0」のように ID 番号 54 と実験バージョン 1.0 を格納して物に貼り、JAN コードは商品にある既存の物を使う事で物の ID 化を行った。人については i アプリ初回起動時に ID を割り振る。

2.3 i アプリ

本実験では、バーコードを読み取り、属性情報や関係情報をサーバに送信する i アプリを作成した。図 2 のように実験者はバーコードを読み取り (物と物に関しては 2 つのバーコードを読み取れる)、図 3 のような画面で関係や属性を記述し、サーバに送信出来る。



図 2: 実験の様子



図 4: ID ページの例

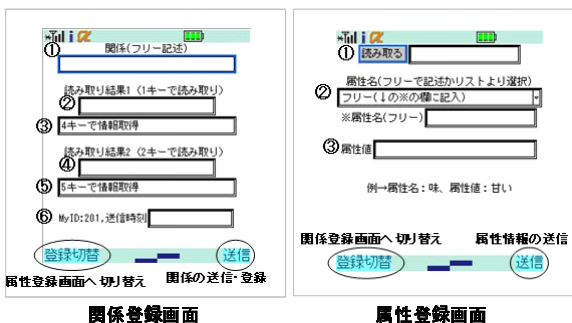


図 3: i アプリ画面例

表 1: ネットワークの特徴を表す諸表値

項目 \ ネットワーク	物のみ	人と物
全ノード数	220	226
リンク数	156	337
グラフ密度	0.00648	0.01325
孤立ノード数	73	17
孤立率	33.2%	7.5%
次数平均値	1.418	2.982
推移性	0.086	0.061

2.4 サーバシステム

携帯電話から送られたデータを CGI を用いてデータベースに格納し、Web インタフェースにおいて情報を整理して閲覧可能である。特に 1 つの ID に関係する全ての人や物の情報を閲覧可能^{*3}である (図 4)。

3. 実験結果と考察

3.1 実験データの概要と分析方法

本実験データの概要を表 1 に示す。得られたデータに対し、物のみのネットワークと、人と物のネットワークの 2 種類に対して、(1) ノード数、リンク数、密度、孤立率、次数平均値、推移性、中心性に関する値の定量的計算 [2]、(2) ネットワーク分析ツール Pajek^{*4}による多値グラフ (同じ人や物同士の関係が複数回登録された場合は、それを「リンクの重み = 太さ」として考慮した) のネットワークの可視化の 2 種類の方法を合わせる事で分析した。

3.2 ネットワークの特徴を示す値の定量的計算

ノード数、リンク数、密度、孤立率、次数平均値、推移性に関して表 1 の結果を得た。まず、人と物のネットワークは物のみのネットワークに比べ、人であるノードが 6 個増えるだけでリンク数・密度・平均次数^{*5}は倍以上、孤立率は 1/4 以下となり、人が物に対して持つ関係 (感情、行為など) が非常に複雑で密である事が分かる。次に、推移性が人と物のネットワークの方が物のみのネットワークより小さい事から、人と物のネットワークの方がよりスター構造に近い形をとっている事が分かる。これは、人がネットワークにおいて中心的な位置にある事を示す。

次に、各人や物の次数中心性を計算した。これより、物のみの二値・多値ネットワークについて次数中心性の高いノードについてまとめた表 2、表 3 と、人と物の多値ネットワークについて次数中心性の高いノードについてまとめた表 4 を得た^{*6}。二値データからは関係を持つ種類数、多値データからは繰り返し登録された数がそれぞれ多い人や物を読み取る事が出来る。各表の次数中心性の上位に入った人や物を次の 3.3 節で、データを可視化した図と合わせて考察する事にする。

3.3 データの可視化と考察

データの可視化は多値グラフで行った。これにより、物のみのネットワークを表す図 5 と、人と物のネットワークを表す図 6 を得た。

図 5 では、表 2 や表 3 での主要なノード名や、特徴的な部分を書き入れてあり、以下の 3 点が読み取れる。

1. バッグ、電気冷蔵庫、テーブル、パソコンがネットワークのハブになる物である (二値データ)。
2. グループ A はある実験参加者に関係するもので非常に長い鎖状構造をとる。
3. グループ B は茶碗と白米、グループ C はオープンレンジと餅であり、それぞれ強い関係を持つ (多値データ)。

(1) では、バッグと電気冷蔵庫は物を収納するもの、テーブルは物を載せるもの、パソコンは多くの物を接続するものと分類できる。このような物が、物のみのネットワークにおいてハブとなりやすい事が分かり、二値データから読み取れる。また、それぞれに直接接続しているノードに注目すると、各ハブの環境が推測できる。例えば電気冷蔵庫のノードに接続しているノードを見る事で電気冷蔵庫の中身が分かる。

*3 これを ID ページと呼ぶ

*4 <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>

*5 リンクの重みは無視

*6 人と物の二値ネットワークについて求めた表は、物のみの二値ネットワークについて求めた表と大差ないので省略した

表 2: 物ネットワークで次数中心性の高いもの (二値グラフ)

ID	次数	標準化値	名前	空間
94	14	0.064	テーブル	自宅
1	11	0.05	パソコン	自宅
9	9	0.041	電気冷蔵庫	自宅
155	7	0.032	バッグ	自宅
100	5	0.023	鏡 (バンドサイズ)	自宅
154	5	0.023	歯ブラシ置き	自宅
191	5	0.023	ノートパソコン	研究室 (柏)
213	5	0.023	マジックインキ	研究室 (柏)
246	5	0.023	不燃ゴミ箱	研究室 (本郷)
293	5	0.023	8 枚切り食パン	自宅
8	4	0.018	血圧計	自宅
61	4	0.018	机	自宅
96	4	0.018	電卓	自宅
99	4	0.018	オープンレンジ	自宅
108	4	0.018	薬の缶	自宅
125	4	0.018	机	研究室 (本郷)
147	4	0.018	アリミノワックス	自宅
245	4	0.018	可燃ゴミ箱	研究室 (本郷)
282	4	0.018	小彩くみ	研究室 (柏)
344	4	0.018	アップルパイ	研究室 (柏)

(2) では, (1) のようなハブ構造だけでなく, 鎖状構造も特定の環境を表す事が分かる. グループ A の場合は, 特定の人に関係する環境が読み取れる.

(3) では, 食事に関係する物がグラフで太いリンクとして表れ, 多値データから読み取れる. これは, 食事は反復的な人間の行為であり, 特に米や餅などの主食に含まれる物が生活の中で重要な位置にある事が分かる.

図 6 では, 表 4 での主要なノード名や, 特徴的な部分を書き入れてあり, 以下の 9 点が読み取れる.

1. 参加者 A,B,C はネットワークのハブになる人であり, 同じ家族である. 又, 参加者 D と参加者 E は他のノードと独立した空間でハブとなっている.
2. 車, 髭剃り, インスタントコーヒー, 炊飯器は参加者 B と強い関係を持ち, 化粧水, 鏡, 薬の缶は参加者 C と強い関係を持つ. 又, グループ A は参加者 C と家庭血圧記録ノートと血圧計であり, 3 者間で強い関係を持つ.
3. ストープは参加者 A と参加者 B の両者と強い関係を持つ.
4. LaTeX の本は, 参加者 A,B,C 周辺の空間と参加者 D 周辺の空間を結び付けている.

(1), (2) では, 人と物のネットワークでは, 人がネットワークのハブになりやすい事を示す. (2) で参加者 D が孤立して大きなハブとなっているが, これは参加者 A~C が同じ家族である事に対し, 参加者 D はこの家族には属さない為である. 本実験では被験者の人数が少なかった為, 顕著な結果は見えないが, 人ごとのグループ構造が読み取れると考える. 又, 参加者 D の周辺に位置するノードは図 5 におけるグループ A の鎖状構造の部分に位置するノードに対応している事が分かった.

(2) では, 人と直接接続しているノードで関係の強い物を見る事で, その人の生活の中で中心となる物が推測できる事が分かる. 特にリンクが強いという事は, 人が何度も繰り返し日常で使っている物である可能性が高いので, その物の ID ページをウェブインタフェース上で確認すれば, 行動の履歴がすぐに分かる.

表 3: 物ネットワークで次数中心性の高いもの (多値グラフ)

ID	次数	標準化値	名前	空間
106	26	0.119	白米	自宅
94	21	0.096	テーブル	自宅
105	21	0.096	茶碗	自宅
99	15	0.068	オープンレンジ	自宅
9	12	0.055	電気冷蔵庫	自宅
1	11	0.05	パソコン (自宅)	自宅
8	10	0.046	血圧計	自宅
155	10	0.046	バッグ	自宅
302	10	0.046	餅	自宅
100	9	0.041	鏡 (バンドサイズ)	自宅
5	8	0.037	家庭血圧記録ノート	自宅
171	7	0.032	パソコン (研究室)	研究室 (本郷)
96	6	0.027	電卓	自宅
160	6	0.027	USB メモリー	自宅
191	6	0.027	ノートパソコン (研究室 (柏))	研究室 (柏)
246	6	0.027	不燃ゴミ箱	研究室 (本郷)
291	6	0.027	実践ネットワーク分析	自宅
293	6	0.027	8 枚切り食パン	自宅
71	5	0.023	ノートパソコン (親)	自宅

(3) では, ストープが参加者 A と参加者 B に生活において共有されている事を示す. このように, 複数の人とリンクを持つノードを見る事で複数の人に共有されている物を見る事ができ, 特に関係の強い物を見る事で重要な共有物を発見する事が可能である.

(4) では, LaTeX の本が 2 つの大きな空間を結び付けている事を示す. この本のノードはリンクの本数が少なく, 関係の強さも小さいがネットワークにおいて重要な位置にあると考える*7.

3.4 今後の課題・展望

本研究では身近な狭い生活空間において実験したが, 実験範囲を広げる事で以下のようなサービスや応用が考えられる. 実験範囲を広げ関係情報を可能な限り蓄積する為には, RFID タグ等を人や物に取り付け, 関係情報が自動で収集できるようなシステムを構築する事が課題である.

1. 街中における公共物で重要な物とその配置方法 (例えばゴミ箱を使う人がどれだけ多いかを調べ, どこに置く事が便利であるか知る)
2. 店において人が興味を持った物
3. 危険物の回避 (例えば人がつまづいた記録を集めて, 街中で危険な場所を探す)
4. 物の移動経路の特定 (ある物の移動経路を関係を持った人から追跡する)
5. 人間を結び付ける物の調査 (人の出会いや, 見知らぬ人との社会のつながりにおいて重要な位置にある物 (又は場所など) を特定する)
6. 一人の人間の行動を時系列で記録したライフログへの応用
7. 属性情報を整理する事で実世界のオントロジ構築 [3] の支援

*7 媒介中心性が高くなる

表 4: 人・物ネットワークで度数中心性の高いもの (多値グラフ)

ID	次数	標準化値	名前	空間
224	247	1.098	参加者 B	自宅
225	204	0.907	参加者 C	自宅
201	179	0.796	参加者 A	自宅
10	71	0.316	ストーブ	自宅
90	45	0.2	インスタントコーヒー	自宅
202	45	0.2	参加者 D	研究室 (柏)
3	39	0.173	電気炊飯器	自宅
108	37	0.164	葉の缶	自宅
59	35	0.156	れんげ化粧水	自宅
100	32	0.142	鏡 (ハンドサイズ)	自宅
94	27	0.12	テーブル	自宅
106	26	0.116	白米	自宅
9	24	0.107	電気冷蔵庫	自宅
99	24	0.107	オープンレンジ	自宅
103	23	0.102	電気ヒゲソリ機	自宅
127	23	0.102	ポンゴフレンドー (車)	自宅
1	21	0.093	パソコン (自宅)	自宅
8	21	0.093	血圧計	自宅
105	21	0.093	茶碗	自宅

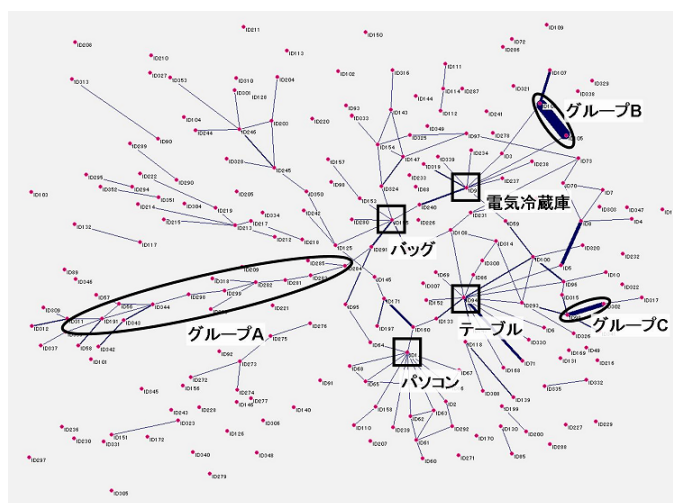


図 5: 物のみのネットワーク可視化図

4. まとめ

本論文では実世界における人や物の関係情報を携帯電話の i アプリとバーコード (JAN コード, QR コード) を用いる事で抽出し, デジタルなデータとしてデータベースに蓄積した. 蓄積したデータより得られたネットワークに対して可視化, 定量的な数値分析を行う事で, 生活において中心的な存在になる物やその周辺の環境, 人が頻繁に使用する物, 人に共有される物等を特定する事が出来た. 実験を広範囲化し, 関係情報を自動で大量に収集する事が可能となれば, リアルタイムで得た関係情報をデジタルなデータとしてコンピュータに (人間と) 共有させ, 今後の展望で記述したようなサービス [4] が盛んになっていくと考える.

参考文献

- [1] 中島秀之: 「人の行動を支援する技術」, 野島久雄, 原田悦子 編, “家の中”を認知科学する, 新曜社, 2004.
- [2] 安田雪: 「実践ネットワーク分析」, 新曜社, 2001.
- [3] 溝口理一郎: 「オントロジー構築入門」, オーム社, 2006.
- [4] 岡岡留, 泰恵岸野, 卓也前川, 豊柳沢, 保志櫻井. s-room: 実世界リアルタイムコンテンツ化: モノとコトに関する情報の生成とそのコンテンツ化 (ユビキタス・センサネットワークを支える理論, および一般). 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク, Vol. 107, No. 53, pp. 25?30, 20070517.
- [5] RDF-リソース表現のフレームワーク.
<http://www.kanzaki.com/docs/sw/rdf-model.html#note-uri-ref>.

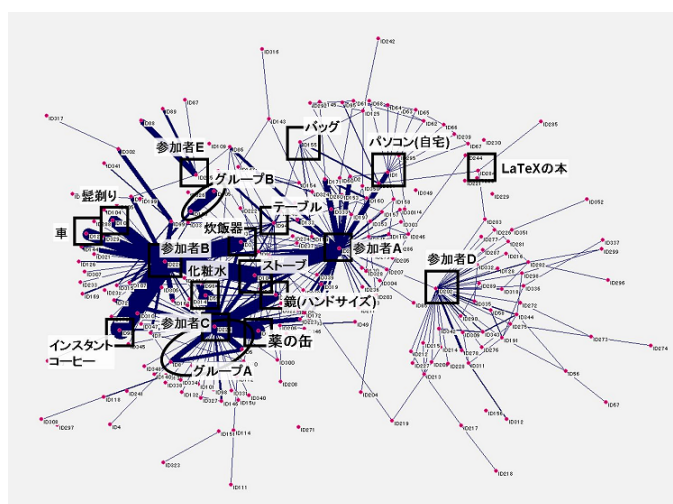


図 6: 人と物のネットワーク可視化図