

ユビキタス環境における協調フィルタリングを用いた 行動ナビゲーション手法の考察

篠田 裕之[†] 竹内 亨[†] 寺西 裕一^{††} 春本 要^{†††} 下條 真司^{††}

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科 ^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター

^{†††} 大阪大学大学院工学研究科

概要

近年のユビキタス技術の発展により、空間センサやユーザの携帯端末から、多種多様なユーザの行動履歴が取得・蓄積可能となってきている。そこで、ユーザの行動履歴から、行動パターンを抽出することで、ユーザが興味を持つと考えられる場所を推測し、推薦するシステムが考えられる。本稿では協調フィルタリング手法を適用し、推薦の対象となるユーザと類似の行動パターンを持つ他のユーザの行動履歴を参照することで、ユーザが行ったことのない場所でも効果的な推薦を行ったり、潜在的に興味のある場所の推薦を行う行動ナビゲーション手法の考察を行う。

キーワード：ユビキタス環境，行動履歴，協調フィルタリング，行動ナビゲーション

A Study of Action Navigation Method by Collaborative Filtering in Ubiquitous Environment

Hiroyuki Shinoda[†], Susumu Takeuchi[†], Yuuichi Teranishi^{††}, Kaname Harumoto^{†††}, and Shinji Shimojo^{††},

[†] Graduate School of Information Science, Osaka University

^{††} Cyber Media Center, Osaka University

^{†††} Graduate School of Engineering, Osaka University

Abstract

By the development of ubiquitous technology of recent years, we will be able to acquire and accumulate various action histories of users from spatial sensors and mobile devices. Therefore, a system to recommend the interested places of users by extracting action patterns from action histories of users can be developed. In this paper, we propose action navigation method by collaborative filtering, which can recommend potentially interested places or even a place where users have not been by referring to action histories of other users having a similar behavior.

key words : Ubiquitous Environment, Action History, Collaborative Filtering, Action Navigation

1 はじめに

近年のユビキタス技術の発展により、ユーザはコンピュータと「いつでも・どこでも」情報をやり取りすることが可能となってきている。環境中に埋め込まれた空間センサや、ユーザの持つ携帯端末などから、ユーザの買い物履歴や移動履歴など、様々な行動履歴を随時、コンピュータに蓄積することが可能となってきており、その情報に基づいて、ユーザはパーソナライズされた最適な情報を得ることができる。このような環境において、ユーザの行動履歴から行動パターンを抽出することで、次にユーザが起こすであろう動作を予測し提示することで行動支援を行う行動ナビゲーションシステムが考えられる。一般に、ユーザの状況や周りの環境などの情報（コ

ンテキストと呼ばれる）を利用し、コンテキストに応じてサービスを提供するものをコンテキストアウェア（Context aware）なサービス [1] と言う。その中でも、ユーザの位置情報に基づいたコンテキストアウェアなサービスはロケーションアウェアなサービスと呼ばれる。

これまでも、空間センサから得られる行動履歴から行動パターンを抽出する研究 [2] や、GPS から得られる移動履歴から移動先を予測する研究 [3][4] など、行動ナビゲーションシステムに関する様々な研究が行われている。

適切な行動ナビゲーションを実現するには、ハイキングに行ったあとは温泉へ行く傾向があるといった、ユーザの行動の過去の行動順序や各行動間の因

果関係を考慮する必要があると考えられる。しかし、従来の研究では、制限された時間・空間におけるユーザモデルの構築が主に行なわれており、過去のユーザの行動に基づく十分なナビゲーションを実現できなかった。また、こうした方法では、ユーザが訪問したことがない場所など、履歴が存在しない未知の行動を取った場合、ナビゲーションそのものが不可能であった。

本稿では、各種センサから得られる行動履歴の分析において、その行動の順序を考慮することによって、ユーザの行動履歴に含まれる意図や因果関係を残し、適切なタイミングでの推薦を行う手法について考察する。またその際、協調フィルタリング手法を応用し、ユーザ間の行動履歴を比較し、類似した行動履歴を持つ他のユーザの振る舞いを参照することで、ユーザが行ったことのない場所においても効果的な推薦を行うことを考察する。

以下、2章において、ユビキタス環境で求められる行動ナビゲーションの要件について述べる。次に3章で、関連研究について述べ、4章で、協調フィルタリングを用いた行動ナビゲーションシステムについて述べ、最後に5章にて、まとめと今後の課題について述べる。

2 ユビキタス環境で求められる行動ナビゲーションの要件

2.1 行動履歴

ユビキタスコンピューティング技術の発達により、ユーザのさまざまな行動がコンピュータにより観測・取得できるようになってきている。屋外においてはGPSを用いることでユーザの位置情報を取得することができ[3][4]、屋内ではRF-IDを利用することでオブジェクトの移動を観測することができる[2]。また、携帯端末の発展により、財布としての機能や交通パスとしての機能などが搭載され、そこから買い物履歴や交通履歴など多種多様なデータが得られるようになってきている。これらのユーザの行動データを取得・蓄積することで、ユーザの行動履歴を得ることができる。ここで、ユーザの行動には、駅付近でファッションショップに行った際に帰りに本屋に寄る、などの、ある行動パターンが存在すると考えられる。行動履歴から、そのようなユーザの行動パターンを抽出し解析することで、ユーザの指示がない場合でも、自動的に効率的な行動ナビゲーションを行うことができると考えられる。

2.2 行動ナビゲーションの要件

次に、本稿で考察する行動ナビゲーションシステムの要件について述べる。

場所レベルでのナビゲーション

これまで様々な行動支援や推薦システムに関する研究が行われてきた。また、その対象も映画や音楽であったり、Webページの推薦など多岐に渡る。その中でも、本稿ではユーザの興味がある場所、POI(Point Of Interest)の推薦をユーザの位置情報に基づいて行う、ロケーションアウェアな行動ナビゲーションシステムについて考察する。たとえば、ユーザが自分の興味に適した近隣のお店などの情報を効率的に得ることができるシステムを想定する。

過程を考慮した行動履歴

ユーザの行動履歴のデータ分析には様々な手法が用いられてきた。確率モデルの一つである隠れマルコフモデルは、過去の状態から未来の未知の状態を確率的に求めるものである。このようなモデルを用いた研究[4][5]においては、ユーザのひとつ前の状態から次の行動を予測していた。しかしながら、ユーザの行動は、これまでの行動過程や現在の様々な状況などの要因によって決定される非マルコフ過程であると考えられる。また、[6][7]などにおけるユーザモデルにおいては、各POIの属するジャンル(レストラン、温泉など)を行に、各コンテキスト(天気、体調、時間など)を列による表形式で記述している。各評価値は、時間経過、通過したPOIなどによって変化する。たとえば、レストランに行くと空腹は解消される、というものである。この評価値は、ユーザプロフィールから算出し、以降の利用とフィードバックを重ねるうちに修正されていく。しかし、過去の行動履歴は、各場所ごとの評価としてフィードバックされるのみであり、ユーザがたどったルートとしては蓄積されず、ある行動をしたときに頻出する行動パターン、といったものは抽出されない。以上より、ユーザの実際の行動に基づいた行動ナビゲーションを行うためには、ユーザの行動履歴を、時間・場所ごとではなく、過程、すなわち行動の順序として考慮することが必要であると思われる。

潜在的な要求の抽出

従来、コンテンツ推薦システム等の評価においては、主に提示するコンテンツの正確性が重視されてきた。しかし、情報としての価値は必ずしも正確性のみでは評価できない[8]。有名であり、既にユーザがよく知っているコンテンツはユーザの要求を正確に満たすものであっても、有用ではなく、煩わしいものとなる可能性がある。また、ユーザが得たことがないコンテンツであっても嗜好に適合しないのではなく、ユーザが知らなかったのみであり、ユーザの新たな嗜好を開拓するものである可能性がある。

ユーザの過去の履歴に基づく推薦のみでは、こうした正確性以外の要素を考慮した推薦を行なうこと

はできない。未知のコンテンツにユーザが満足できるかどうかを判別できるよう、ユーザが潜在的にそのコンテンツを求めているかどうかを抽出できる必要がある。

この傾向は行動ナビゲーションにおいて顕著となる。すなわち、ユーザが行動ナビゲーションを要求するのは、多くの場合訪問したことがない場所であると考えられる。したがって、ユーザの過去の行動履歴が存在しない場所であっても、ユーザの潜在的な要求を抽出し、次にユーザがその場所でどこを訪問すべきかを推薦できる仕組みが必要となる。

以下では、これらの要件をみたすシステムを構築する手法について考察する。

3 関連研究

以下に、ユーザの行動履歴に基づいて行動ナビゲーションを行うことを目的とした関連研究についていくつか述べる。

ロケーションウェアなシステムではないが、RF-IDなどの空間センサを用いて、様々な日常生活支援を行うものとして[2]がある。この研究においては、ある行動をした時に、高い頻度で行われる行動パターンと照らし合わせることによって普段と違った行動を指摘するといった支援を行っている。例えば機密度の高い書類を片付けずに席を立ったときに、書類をしまわなくてよいのかを提示する、という支援を想定している。

ユーザの移動先を予測して、事前に観光地の情報を効率よく入手するものとして[3]がある。この研究は、ユーザが携帯端末を持ち、観光地でホットスポット間を移動するという状況において、事前に移動先を予測することで効率的に情報をダウンロードするというものである。ホットスポットを等間隔なエリアに区切り、GPSを用いて、あるエリア内に観光客が行った際にその区画をカウントしていくもので、より多くの観光客が行ったエリアは、他の観光客も行く可能性が高いという前提に基づいている。しかし、このシステムにおいては、ユーザのルートは考慮されておらず、また、一般的な移動予測しか行うことができず、より細やかなサービスは実現できない。

ユーザの移動手段を推定することで行動ナビゲーションするものとして[4]がある。この研究では、GPSから得られた行動履歴を解析し、ユーザの移動手段を推測することで、移動先の推定や、普段と異なる移動経路をとったときに警告を出すといったサービスを行っている。時間の変化によって前の行動と次の行動の関係が変化することはないという前提に基づいており、ひとつ前の状態から現在の状態を決定する一次元のマルコフモデルのような行動モデルを用いているため、単純化された行動履歴しか利用することはできない。

ユーザの嗜好体系を領域オントロジーにより拡張させるものとして[9]がある。この研究では、ユーザは主観的な嗜好に基づいてユーザカテゴリを作成、分類する。例として、「雰囲気がいい」「景色がいい」などのカテゴリが挙げられている。個別に作成されるユーザの嗜好情報は小規模であるため、多くの情報を持つ領域オントロジーを併用することにより、ユーザの個人嗜好情報を拡張させ、低コストで様々なシーンで汎用的に推薦を行うシステムが提案されている。

上記のような行動ナビゲーションシステムにおける研究では、他のユーザとの行動履歴の共有は十分に行われておらず、前述したシステム要件である「潜在的な要求の抽出」を行うことは難しい。そこで本稿では、ユーザの行動履歴を他のユーザのものと比較し、類似の行動履歴を持つ他のユーザの行動履歴を参照することで、ユーザがまだ行ったことのない場所においても効果的な行動ナビゲーションを行うシステムについて考察する。

4 協調フィルタリングによる行動ナビゲーション

4.1 行動の順序

行動の順序とは、ユーザの行動履歴において、その最小単位を行動としたときに、それらが時系列に並んだものである。得られたユーザの行動の順序を分析することで、ユーザに対し、適切なタイミングで効果的なサービスを提供することができると考えられる。しかしながら、実際に得られる行動履歴からデータマイニングを行う際にはいくつかの問題がある。それらは主に、「履歴の粒度差の問題」、「ノイズの問題」、「抽象化の問題」である。

「履歴の粒度差の問題」とは、行動履歴の取得間隔は、時間や場所などの状況や、ユーザによって異なるということである。また、ある一定時間以上の時間・位置間隔ごとに以前の状況に大きく依存しない、別の状況になると考えられる。さらに、ユーザの行動はある一定期間ごとに周期的に繰り返されると考えられる。

たとえば、職場や自宅など毎日の生活に関連する場所付近での行動パターンは1日周期で繰り返されると考えられる。そのため、データマイニングをする際には、得られた行動履歴をある閾値以上の時間・位置が変わるごとにひとつの順序として区切ることが必要である。

「ノイズの問題」とは、現実のユーザの行動履歴には、目的とは無関係の行動や、あまり重要ではない履歴が混在するということである。そのため、行動順序からこれらのノイズを取り除くことが必要となる。そこで、ユーザの行動順序から頻出行動パターンを抽出し得られた行動順序と比較することが考え

られる。あるデータ系列から頻出パターンを発見する手法としては、Prefix-Span 法 [10] が挙げられる。Prefix-Span 法とは、ある系列を構成する要素からなるパターンの、前 (prefix) と後ろ (postfix) に分けるということを再帰的に繰り返していき、頻出するパターンが見つければ、それを順次長くしていくことで、すべての頻出パターンを抽出することができるという手法である。また、Prefix-Span 法を改良する手法 [11] も提案されている。

また、「抽象化の問題」とは、取得できるユーザの行動履歴だけでは、情報量が少ないため、抽象化を行いデータの再利用性を高める必要があるということである [9]。たとえば、固有の名前のレストランから「ファミレス」さらには「飲食店」とすることで実際の店は違うが、同様の店に行った場合も同様の行動として認識することができ、実際によく行う行動パターンを抽出することができる。

以上のことを考慮することで、ユーザの行動パターンをより有用な分析しやすい形にすることが出来る。そこで、ユーザの行動パターンを次に述べる協調フィルタリングを用いて比較することにより、あるユーザ A の行動パターンと類似の行動パターンを持つ他のユーザ B を求めることができる。

4.2 協調フィルタリング

推薦システムには、主にコンテンツベースのものと、協調フィルタリングを用いるものがある。

コンテンツベースのシステムとは、あるユーザが好むコンテンツと類似のコンテンツを推薦するものである。しかし、コンテンツ間の類似性を判別するための情報が必要となることや、推薦されるコンテンツは、すでにユーザが知っている可能性が高いといった問題点がある。

一方、協調フィルタリング [12] とは、ユーザの嗜好と類似の嗜好情報を持つユーザを参照し、潜在的なユーザの嗜好を推測するシステムであり、推薦システムにおいて使用される代表的な手法である。たとえば、あるユーザ A と類似の嗜好情報を持つユーザ B がいたときに、仮にユーザ B が好むものを、まだユーザ A が知らなければ、潜在的に興味があると推測し推薦するものである。ユーザの類似度は、同じコンテンツへの評価などによって求めるため、どのようなコンテンツでも推薦が可能である。

協調フィルタリングに関する研究としては、いくつかの異なるデータレポジトリを仮想的な単一の機構として繋げることにより、計算量を削減するというものや [13]、これまでのユーザやシステムの振る舞いによって信頼値を生成し、その信頼値によって次の推薦の際の重みを決定するもの [14] などがある。

また、協調フィルタリングを用いて、ユーザの行動パターンである行動の順序を比較する際には、2つの

順序間に定義される距離を求める必要がある。順序間の距離を求めるものとして、Spearman 距離、Footrule 距離、Kendall 距離、Ulam 距離、Cayley 距離などがある [15]。

以上の操作により、ユーザは、ある場所で自分と類似の行動パターンを示した他のユーザを求めることができ、そのユーザの行動履歴を参照することで、ユーザが行ったことのない未知の場所においても、効率的な行動ナビゲーションを行うことができると考えられる。

4.3 実装案

これまでに述べてきたようなシステムを、ユーザの位置情報に基づいて、ユーザの携帯端末に、適切なタイミングで効果的な情報を表示する行動ナビゲーションシステムとして実装することを提案する。

以下、処理手順を説明していく。

(1) ユーザの行動履歴の取得

これまでも議論してきたように、ユーザの行動履歴の取り方には様々な方法があるが、ここでは、携帯端末からの情報により、行動履歴を蓄積していく方法を考える。なぜなら、携帯端末はメモ書きやカメラとしての機能をはじめ、電子マネーを利用して、ショッピングの支払いや交通パスとしての機能、さらに GPS センサとしても利用でき、様々な情報が取得できると考えられるからである。

ユーザの行動履歴は、「場所 (緯度経度)」とともに、「ユーザ名」、「時間」、「場所名 (具体的なレストラン、公園、お店など)」、「アクション (買い物、写真、など)」などの属性をもつデータとして取り扱う。場所名は、場所データから、地図情報と照らし合わせることで得られる属性である。

行動の蓄積は、ユーザからの能動的なものと、自動的に行われるものの 2 種類を想定する。ユーザからの能動的な取得とは、たとえば、ユーザがお店で買い物をしたり、観光スポットで写真を撮った際に記録されるものである。しかし、これだけでは、明示的なアクションを起こさない限り、データは保存されず、ユーザの行動の過程を抽出することは難しい。そのため、ある一定時間や場所ごとにデータを記録していくことも必要だと考えられる。図 1 は、実際にユーザの行動履歴を取得し、地図上にマッピングした例である。

(2) 「ノイズの問題」の考慮

次に、得られる行動履歴からあまり重要ではない履歴を除く。あまり重要ではない履歴とは、「行動履歴が同一の場所に密集しており、重複するデータが複数存在する」場合と、「その場所自体に特に意味はない」場合である。前者は、緯度・経度がほぼ同じ



図1: ユーザの行動履歴

である場合と、「場所」データから抽出される「場所名」が同一の場合があり、どちらも始めと終わりの点のみで十分であると考えられる。

後者は、得られた位置情報からの地図データから、どの近隣のお店などの「場所名」データも抽出されず、ユーザからのメモや写真などの「アクション」データも存在しない場合である。そのような履歴は、ノイズとして消去する。

(3) 「履歴の粒度差の問題」の考慮

ユーザから得られる行動履歴は、図1に示すように、一定の取得間隔ではない。また前述の通り、ある一定時間以上の時間・位置間隔ごとに以前の状況に大きく依存しない、別の状況になると考えられる。よって、得られた行動履歴を、ある時間・場所ごとに区切り、各々の一連の行動履歴を、1つの順序として取り扱う。

(4) 「抽象化の問題」の考慮

次に、得られたユーザの行動履歴の抽象化を行う。たとえば、固有の名前のレストランから「ファミレス」さらには「飲食店」とすることで実際の店は違うが、同様の店に行った場合も同様の行動として認識することができ、実際によく行う行動パターンを抽出することができる。抽象化の際には、事前に用意された類似語データベースと照らし合わせることで行う。

(5) 頻出行動パターンの抽出

以上の操作によってユーザごとに得られた行動の順序から、場所ごとに、そのユーザの頻出行動パターンを決定する。

(6) 類似のユーザの選定

場所ごとの頻出行動パターンをユーザのプロファイルとし、協調フィルタリング手法を適用する。あるユーザAの現在の場所における行動履歴をもつユーザのうち、他の場所において、ユーザAと類似の行動パターンを持つ別のユーザBを求める。その際、順序間の方程式を用いる。

(7) 推薦の参照となるルートの決定

もし、ユーザAが自分の行動履歴が存在しない場所において、上記の処理によって、別のユーザBの行動履歴を求めることができた場合は、ユーザの行動を推測する際に、その行動履歴を参照する。

(8) 各種サービスの表示

(7)で求めた行動履歴を参照し、それに基づいて、ユーザの行動、移動先を推測する。これにより、行動ナビゲーションシステムはユーザの位置から近い情報を順に表示するのではなく、予測された移動ルートに沿って効率よく、その場所の情報や各種クーポンなどのサービスを受けることができる。図2にその例を示す。

行動ナビゲーションが行われるタイミングは、2つ考えられる。1つはユーザが能動的に情報を求める場合であり、もうひとつは、ある一定期間ごと、もしくはある条件をみたしたときに自動的に情報が配信される場合である。前者は時にユーザに負担をかけることになり、後者は過度に行くと、わずらわしいものになってしまう。これらの配信の頻度などに関しては、実証実験によるユーザアンケートなどからフィードバックを得ることが望ましいと思われる。

もし、ユーザの実際の行動が予測されたルートから大きく外れた場合は、他の類似行動パターンを持つ別のユーザを探し、以下の処理を繰り返す。



図2: 行動ナビゲーションシステムのイメージ

提案手法によって、ユーザが行ったことのない場所でも効果的な推薦を行ったり、潜在的に興味のある場所の推薦を行う行動ナビゲーションが可能となる。例えば、はじめて大阪駅に来たユーザに対し、過去、当該ユーザと同様に「駅を出たあと本屋街を放浪したことがある」人が他に複数人居て、それらの人が大阪駅近辺に来たときに「阪急1階の本屋へ行く傾向がある」という情報を得て、阪急1階の本屋への行動ナビゲーションを行なう、といったことが可能となると考えられる。

5 まとめと今後の課題

本稿では、協調フィルタリング手法を適用し、推薦の対象となるユーザと類似の行動パターンを持つ他のユーザの行動履歴を参照することで、ユーザが行ったことのない場所でも効果的な推薦を行ったり、潜在的に興味のある場所の推薦を行う行動ナビゲーション手法の考察を行った。

今後の課題として、行動パターンの取得・比較アルゴリズムを検討していき、実際の行動ナビゲーションシステムの実装をしていく。また、シミュレーションや実証実験により、考案した推薦手法の有効性を検証していく予定である。

謝辞

本研究は、平成18年度総務省委託研究「ユビキタスネットワーク認証・エージェント技術の研究開発」の一環として実施したものである。研究開発にあたり、貴重な助言をいただいたUAAプロジェクトのメンバーに深謝する。

参考文献

- [1] Anind K. Dey and Gregory D. Abowd. Towards a better understanding of context and context-awareness. In *The Workshop on The What, Who, Where, When, and How of Context-Awareness, as part of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, March 2000.
- [2] 小川 悌知, 賀来 健一, 渡邊 文隆, 佐渡山 英史, and 富井 尚. 概念共有環境 CONSENT における行動パターンの取得. In *Data Engineering Workshop(DEWS2006)*, volume 4B-i9.
- [3] U. Kubach and K. Rothermel. Exploiting location information for infostation-based hoarding. In *The 7th ACM SIGMOBILE Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001)*, pages 15–27, July 2001.
- [4] Donald J. Patterson, Lin Liao, Dieter Fox, and Henry Kautz. Inferring high-level behavior from low-level sensors. In *The 5th International Conference on Ubiquitous Computing (UBICOMP)*, pages 73–89, October 2003.
- [5] 鈴木 理絵子, 川原 圭博, 森川 博之, and 青山 友紀. 情報家電操作のための確率モデルを用いた動的なユーザインタフェースの構成手法. In *The 5th International Conference on Ubiquitous Computing (UBICOMP)*, pages 73–89, March 2003.
- [6] 岡本 昌之, 服部 正典, 長 健太, 岡本 雄三, and 山崎 智弘. 時間経過を扱う context-aware システムのユーザモデルを用いた評価手法. In *MYCOM2004*, June 2004.
- [7] 林 智天, 川原 圭博, 田村 大, 森川 博之, and 青山 友紀. 小型モバイルセンサを用いたコンテキスト適応型コンテンツ配信サービスの設計と実装. In *IEICE Technical Report*, volume 104, pages 149–154, February 2004.
- [8] Jonathan L. Herlocker, Joseph A. Konstan, Loren G. Terveen, and John T. Riedl. Evaluating collaborative filtering recommender systems. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 22:5–53, January 2004.
- [9] 安随 晋太郎, 福田 聡, 濱崎 雅弘, 大向 一輝, 武田 英明, and 山口 高平. オントロジーに基づく携帯情報端末用レコメンデーションシステムの構築. In *The 19th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI2005)*, volume 2D2-03, June 2005.
- [10] Jian Pei, Jiawei Han, and et al. Mining sequential patterns efficiently by prefix-projected pattern growth. In *International Conference of Data Engineering (ICDE2001)*, pages 215–224, April 2001.
- [11] 高木 允, 周藤 俊秀, 田村 慶一, and 北上 始. 並列 modified prefixspan 法における動的負荷分散手法. In *Data Engineering Workshop(DEWS2004)*, volume 2004, June 2004.
- [12] P.Resnick, N.Iacovou, M.Suchak, P.Bergstrom, and J.Riedl. GroupLens: Open architecture for collaborative filtering of netnews. In *Proceedings of ACM 1994 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pages 175–186, 1994.
- [13] Berkovsky S., Busetta P., Eytani Y., Kuflik T., and Ricci F. Collaborative filtering over distributed environment. In *The Workshop on Decentralized, Agent-Based and Social Approaches to User Modeling, in conjunction with the International Conference on User Modeling [UM]*, pages 1–10, July 2005.
- [14] John O'Donovan and Barry Smyth. Trust in recommender systems. pages 167–174, January 2005.
- [15] Marden and Jhon I. *Analyzing and Modeling Rank Data*, volume 64 of *Monographs on Statistics and Applied Probability*. Chapman & Hall, August 1995.