

大学院国際情報通信研究科

Master's Thesis
修士論文

Title
論文題目

モバイル環境におけるユーザクラスタリングを用いた情報推薦システムに関する研究

A Study on Recommender System using User Profile Clustering for Mobile Application

Student ID
学籍番号

4202A115-3

Name
氏名

金田 瑞規

Supervisor
指導教員

渡辺 裕

印

2004年3月15日

Summary of Master's Thesis
2004年3月修了修士論文概要書

Name 氏名	金田 瑞規	ID number 学籍番号	4202A115-3
題目 Title (日本語の場合は英文題目も記入)	Supervisor 指導教員		渡辺 裕 印
日本語 Japanese	モバイル環境におけるユーザクラスタリングを用いた情報推薦システムに関する研究		
英語 English	A Study on Recommender System using User Profile Clustering for Mobile Application		

概要 Summary

近年における携帯電話やPDAといった携帯端末の普及、GPS等の位置測位デバイスや処理機能の高性能化から、携帯端末に対する情報推薦システムが注目を集めている。昨今の調査では次世代携帯電話で使用したいサービス・魅力を感じるサービスの筆頭として、ロケーションサービスや歩行者ナビゲーションシステムといった情報推薦システムが挙げられている。

そこで本研究では、モバイル環境における、各ユーザに適した情報を配信する情報推薦システムに関する研究を行う。

各ユーザに適した情報を与える技術を一般に「パーソナライゼーション技術」という。この技術の中で現在最も普及しているのは、自動的にユーザに情報を推薦する「協調フィルタリング手法」である。この協調フィルタリング手法はユーザの行動履歴に基づいてコンテンツの推薦値を求め、その値によってコンテンツを推薦するシステムである。しかし、この協調フィルタリングシステムには、コンテンツやユーザの増加によって処理時間が増大してしまう点や推薦精度の面で問題点が報告されている。そこで本研究では、ユーザプロフィールをクラスタリングしてユーザを管理する事により、処理時間を低減させる手法を提案する。更に、ユーザプロフィールの相関が強いユーザをクラスタリングでまとめる事により、推薦精度の向上も期待できる。

本論文ではZipf, Randomの二つの分布によるユーザ評価モデルを作成し、そのモデルを用いてシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、本提案手法は処理時間・推薦精度の両方において従来の協調フィルタリング手法よりも性能が向上することが検証された。

本論文の構成を以下に示す。

1章は序論であり、研究の背景を述べる。2章ではモバイル環境における情報推薦システムの要求条件及び既存のシステムに関して記述する。3章ではユーザに分かりやすい形で情報を表示することを目的として、モバイルカメラを用いた情報提示システムの基礎検討を行う。4章ではパーソナライゼーション技術及び協調フィルタリング手法の概要、問題点、既存研究を報告する。5章では、処理時間低減を目的としたユーザクラスタリングを用いた手法を提案し、6章においてシミュレーションによる評価を行う。7章は総括であり、本研究の総括及び今後の課題をまとめる。

注意 1. 提出期限/ Deadline of Submission 2004年1月31日(土)14:00

2. 原本1部、コピー1部の計2部提出/ Must submit one original and one copy

平成15年度 修士論文

モバイル環境におけるユーザクラスタリングを用いた
情報推薦システムに関する研究

A Study on Recommender System using User
Profile Clustering for Mobile Application

指導教授 渡辺 裕 教授

2004年1月

早稲田大学大学院 国際情報通信研究科
情報通信システムコース

4202A115-3

金田 瑞規

Mizuki KANADA

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	必要とされる技術	2
1.2.1	ユーザ嗜好情報の学習, 利用	2
1.2.2	地理情報表示形式	3
1.2.3	主観的な地理情報	3
1.3	研究の目的	3
1.4	本論文の構成	3
第2章	モバイル環境における情報推薦システム	5
2.1	はじめに	5
2.2	モバイルアプリケーションの要求条件	5
2.3	モバイル環境における情報検索・推薦システム	5
2.4	既存研究	7
2.4.1	情報検索方法・フィルタリング方法に関する研究	7
2.4.2	情報登録方法に関する研究	8
2.4.3	情報配信方法に関する研究	9
2.4.4	情報表示方法に関する研究	9
2.5	おわりに	10
第3章	モバイルカメラを利用した情報提示方法	11
3.1	はじめに	11
3.2	地理情報表示	11
3.3	写真に対する地理情報付加に必要な情報	12
3.3.1	コンテンツ位置情報の記述方法	13
3.3.2	ユーザ情報の取得方法	13
3.4	写真からの位置情報抽出	14
3.4.1	色情報	14
3.4.2	テキストチャ情報, 文字情報	14
3.4.3	直線群	14
3.5	基礎実験	15
3.5.1	実験手順	15

3.5.2	実験結果	16
3.5.3	考察	16
3.6	まとめ	16
3.7	(補足) 消失点検出方法	20
3.7.1	消失点とは	20
3.7.2	Hough 変換の原理	20
3.7.3	Hough 変換による消失点検出	20
第 4 章	パーソナライゼーションと協調フィルタリング手法	32
4.1	はじめに	32
4.2	パーソナライゼーション	32
4.2.1	パーソナライゼーションとは	32
4.2.2	パーソナライゼーションのニーズ	32
4.2.3	現状のパーソナライゼーションエンジン	33
4.3	協調フィルタリング手法	34
4.3.1	協調フィルタリング手法のアルゴリズム	34
4.4	協調フィルタリング方式の問題点	35
4.5	協調フィルタリングに関する既存研究	35
4.5.1	ロボットを用いた協調フィルタリングシステム	35
4.5.2	ユーザの潜在嗜好モデルに基づいた協調フィルタリング手法	36
4.5.3	不統一対象属性を利用した協調フィルタリング手法	36
4.6	モバイル環境に利用するための条件	36
4.7	まとめ	37
第 5 章	提案手法	38
5.1	はじめに	38
5.2	提案手法の目的	38
5.3	提案手法	38
5.3.1	前提条件	38
5.3.2	仮定	38
5.3.3	ユーザクラスタリングを用いた協調フィルタリング	39
5.3.4	クラスタ再構築の検討	41
5.3.5	クラスタ再構築の提案アルゴリズム	41
5.4	まとめ	42
第 6 章	シミュレーションによる評価	45
6.1	はじめに	45
6.2	使用コンテンツ	45
6.3	評価基準	45

6.3.1	処理時間	45
6.3.2	推薦精度	45
6.4	処理速度・推薦精度の検証	48
6.4.1	シミュレーションモデル	48
6.4.2	入力モデル	50
6.4.3	(補足)k-means クラスタリングアルゴリズム	50
6.4.4	実験条件	52
6.5	シミュレーション結果	52
6.5.1	処理時間	52
6.5.2	推薦精度	52
6.6	ユーザ嗜好変化対応の検証	61
6.6.1	シミュレーション方法	61
6.7	シミュレーション結果	61
6.8	考察	61
6.9	まとめ	62
第7章	結論	64
7.1	はじめに	64
7.2	総括	64
7.3	今後の課題	65
	謝辞	66
	参考文献	67
	図一覧	70
	表一覧	72
	研究業績	73

第1章

序論

1.1 研究の背景

近年携帯電話やPDA，小型ノートパソコンといった携帯端末が爆発的に普及している．国内におけるモバイル通信利用者は2005年までに全人口の約7割に達するという調査報告も出ている⁽¹⁾．また，GPSや電子コンパスといった位置測位デバイス搭載型の機種も登場している．端末自身の能力もディスプレイの高解像度化，CPUの高クロック化，Javaアプリケーションの実行環境の搭載といったように上昇してきている．

携帯端末はその「持ち運び可能」という特性から，ナビゲーションシステムの受信端末に非常に有用であると考えられている．また，昨今の調査⁽²⁾⁽³⁾では，次世代携帯電話で利用したいサービス・魅力を感じるサービスの筆頭として，ロケーションサービスや歩行者ナビゲーションシステム等の情報推薦システムが挙げられている．

携帯端末を用いた初めての位置情報サービスは，国内では1997年度下期から順次始まったPHSを使った位置情報サービスであり，第三者の位置をPCやFAXで確認したり，自分の現在位置周辺のコンテンツをノートPCなどで取得することが行われていた．現在地周辺のコンテンツの参照は，携帯端末とノートPCの組み合わせに携帯端末単体の形態が追加されるとともに，PHS以外の通信方式の異動期でも利用可能になっている．さらにGPSが登場したことにより，位置情報サービスはますます発展してきている．

このような状況のなかで，位置情報流通・地理情報流通という観点では，今後以下の3点に注目すべきであると考えられている⁽⁴⁾．

- フォーマットやプロトコルの統一化/オープン化

これまでの携帯端末上での位置情報利用サービスにおいて，各情報をやり取りしようとした場合には，提供会社・通信メディア・システムの異種性が問題になり，様々なシステムやアプリケーションにまたがって位置情報を流通することが困難であった．そこで，各システム間でも情報のやり取りを可能にするような地理情報記述方式の標準化が望まれる．

そのため，現在地理情報記述言語は現在様々な討議がされている．それらは主にXML(eXtensible Markup Language)をベースとして記述されている．国内においては(財)データベー

ス振興センタの進める G-XML⁽⁵⁾ というものがある。これは、地図情報およびその上に載せる POI(Point Of Interesting: 関心地点) 情報を XML 形式で記述し、オープンな GIS(Geographic Information System: 地理情報システム) コンテンツ流通基盤を目指すものである。G-XML は version2.0 が 2001 年 8 月に「地理情報-地理空間データ交換用 XML 符号化法 X799」として JIS 化され、2004 年 1 月現在、version3.0 まで規格化されている。この G-XML はいくつかの地方公共団体が観光用・あるいは災害対策用などの用途において採用し、今後普及が見込まれている。

国外においては、OpenGIS Consortium の進める GML⁽⁶⁾ というものがある。これは G-XML と同様に地図情報およびその上に載せる POI 情報を XML で記述したものであり、G-XML に比べ記述できる内容が多くその分複雑になっている。現在は G-XML との国際統合版 (GML3.0) に変更・拡張が加えられ ISO/TC211 の場で各国の委員により、ISO-GML (GML3.1.0 版) としての制定に向けて審議されており、2004 年 12 月には ISO の CD (CommITtee Draft) として制定される見込みである。

- 移動端末の相対的な座標 (距離) に基づくサービスの可能性

現状あるサービスのほとんどは、PHS や GPS など測位される絶対座標を利用するものが中心である。もちろん今後も絶対座標を利用する形態がとられているが、実世界におけるモバイルコミュニケーションという観点から、相対座標・相対距離に基づく通信形態・サービスには大きな可能性があると思われている。

- 位置情報やユーザ情報を利用するアプリケーションの多様化

現状では、第三者の位置を地図上で確認したり、自分の位置の周辺地図や既存データベース中のタウンコンテンツを検索するといった程度で、他の様々なシステムや情報源、またユーザの個性を利用したアプリケーションへの広がりは見せていない。位置情報が分かるというモバイルならではの特性を活かし、その情報を用いる事でユーザ個別へサービスをするようなシステムが期待される。

1.2 必要とされる技術

以上を踏まえて、現在考えられている地理情報推薦システムに必要とされる技術を述べる。

1.2.1 ユーザ嗜好情報の学習, 利用

ユーザが欲しい情報、ユーザにとって有益な情報を優先的に提示するためには、やはりユーザの嗜好情報を利用することが不可欠となる。既存研究においても嗜好情報を行動履歴から学習するといった手法がとられているが、まだまだ検討は必要だと思われる。ユーザの履歴を利用した情報推薦には現状では 4 章に述べる「協調フィルタリング手法」が最も普及

している。しかし、この方式にはスケーラビリティや処理コスト面での問題点があり、モバイル環境に適用するために手法を改善する必要がある。

1.2.2 地理情報表示形式

既存の地理情報提示システムの情報提示形式は、検索エンジンの検索結果のようにコンテンツへのリンクを上から順に並べた形式か、2D地図を用いた形式、すなわち街を上から見下ろした形で表示される。これらの形式ではユーザが直感的に理解することが困難である場合が多い。したがってユーザに対しどのように情報を提示するのかといった技術が重要な課題となる。

1.2.3 主観的な地理情報

現状で提示されている地理情報、例えばレストランの情報などでは「店名」「メニュー」といった様な客観的なデータが主である。もちろん検索の際にはこういったデータは非常に重要な意味を持つ。しかし、主観的な情報、例えば先のレストランの例で言えば「評判」「感想」といった情報がより重要な意味を持つことが多いと考えられる。ユーザが実際にレストランを検索した場合、こういった情報があると非常に便利である。現状の主観情報を利用しているシステムでは、利用者間の親近感や信頼感が欠如しており、この様な問題点を解決する方法が課題となる。

1.3 研究の目的

先に述べた様に、モバイル環境での情報推薦システムを構築するためには様々な課題がある。そこで、本研究では

1. 表示方法に関する基礎検討
2. ユーザの評価履歴を利用した情報推薦手法をモバイル環境に適用した際の問題点改善

の2点を目的とした研究を行う。

表示方法に関する基礎検討部では、ユーザに最もよく分かる情報提示形式を検討し、それを実現するためにモバイルカメラを用いた手法を提案し、その基礎検討を行う。

ユーザの評価履歴を用いた情報推薦システムの改善部では、現在最も普及している「協調フィルタリング手法」の問題点を挙げ、その問題点を改善するための手法を提案し、シミュレーションによりその有効性を検証する。

1.4 本論文の構成

以下に本論文の本章以降の構成を示す。

第2章 現状のモバイル環境での地理情報システムとその背景技術を述べる．

第3章 モバイルカメラを用いた地理情報記述に関する基礎検討を行う．

第4章 ユーザ個人個人に適した情報を提示する「パーソナライゼーション技術」について述べ、その中の本研究の核となる「協調フィルタリング手法」について述べる．

第5章 協調フィルタリングの処理コストを低減させる手法を提案する．

第6章 提案手法の有効性をシミュレーションを用いて実験する．

第7章 本研究の総括を行い、今後の課題を述べる．

第2章

モバイル環境における情報推薦システム

2.1 はじめに

本章では、モバイル環境における情報推薦、情報提供に関する要求条件と、その既存研究に関して記述する。

2.2 モバイルアプリケーションの要求条件

モバイル端末には、以下の様な特徴がある。

- 演算能力が PC 等に比べて低い
- 携帯性といった特徴から表示能力に限界がある
- 通信容量に制限がある

以上の特徴から、ただ情報を検索したり、情報を推薦しようとするユーザーにとって有用な情報にたどり着くのが非常に困難になってしまう。また、サービス上、推薦や検索処理に時間をかけられないといった特徴がある。

したがって、モバイル環境において情報推薦を行うためには、以下に示すような処理が必要となる。

1. ユーザーに適した情報を選び (パーソナライゼーション),
2. それを効率よく, 分かりやすい形で提示し,
3. かつシステムの処理を高速に行う

本研究では、この条件を満たす情報推薦システムに関しての研究を行う。

2.3 モバイル環境における情報検索・推薦システム

先に述べたモバイルアプリケーションの要求条件を満たす、情報検索・情報推薦のシステムの流れは

1. ユーザが検索要求を行う
2. サーバはユーザからの要求 (キーワード等) 及びユーザの現在情報 (時間・場所等) を取得する
3. サーバはユーザプロフィールを管理するデータベースに登録・アクセスする
4. ユーザプロフィールデータベースのデータを基にユーザの嗜好情報を入手する
5. 上記で得られたユーザの嗜好情報, ユーザから得られた情報を基に地理情報データベース内のデータをフィルタリングし, ユーザに最適と思われる情報を抽出する
6. サーバは抽出された地理情報をユーザに見やすい形で提示する

となる. システムの概念図を図 2-1 に示す.

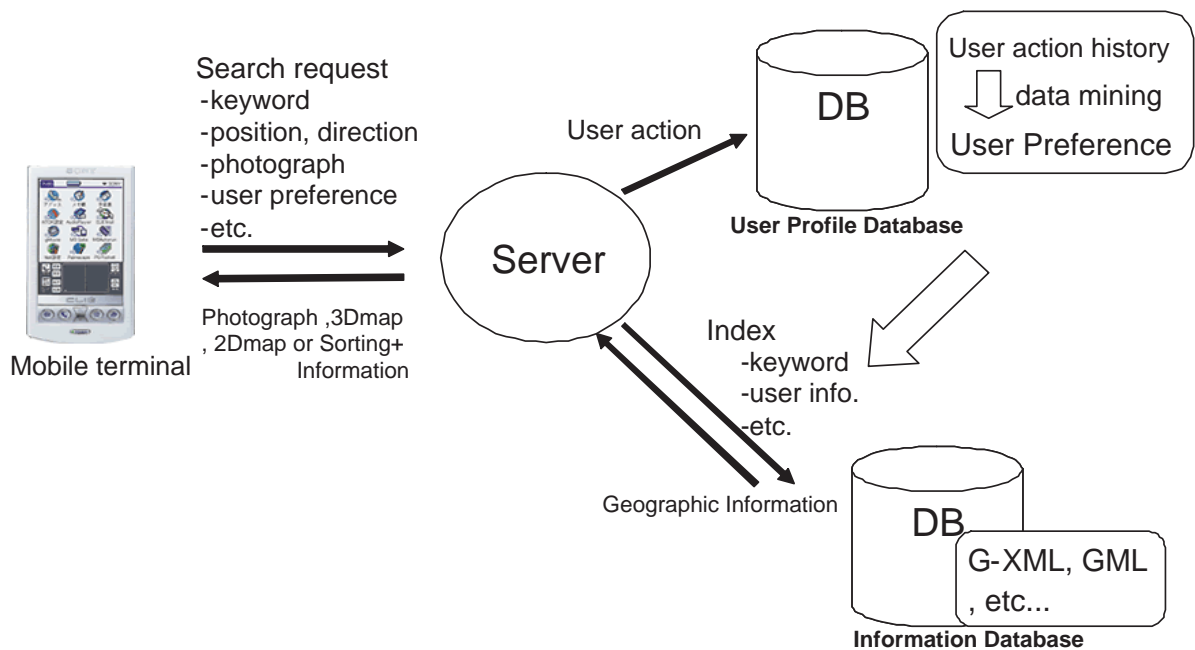


図 2-1: モバイル環境における情報推薦・検索システム

2.4 既存研究

現在行われているモバイル端末向けの地理情報提示に関する研究は、大きく分けて以下の4種類に分類できる。

- 情報検索方法・フィルタリング方法に関する研究
- 情報登録方法に関する研究
- 情報配信方法に関する研究
- 情報表示方法に関する研究

この中で特に盛んに研究が行われているのはひとつめの情報検索・情報フィルタリングに関する研究である。

以下、この4つの分類を基に既存研究を簡単にまとめる。

2.4.1 情報検索方法・フィルタリング方法に関する研究

- ユーザ位置情報・方向情報に基づくフィルタリング

Salilら⁽⁷⁾は、Websign というシステムの開発について報告している。これはユーザの現在位置・向きから「ユーザが何を見ているか」「ユーザから何が見えているか」を判断し、その範囲にある建物や店舗等の Web サイトを表示させるシステムとなっている。あらかじめ、建物・店舗等の位置や Web サイトの URL が登録されたデータを容易しておく。このデータは XML をベースにした WML(Websign Markup Language) という独自の記述言語で記述されている。ユーザの持つ携帯端末には GPS・電子コンパスといった位置測位デバイスが搭載され、このデバイスの情報を基にユーザから見えている物を判断し、Web サイトを表示させている。また、GPS には数メートルオーダーの誤差があるため、この誤差も考慮に入れたフィルタリングを行っている。

- モバイルカメラを利用した情報ハンドリング

山口ら⁽⁸⁾は、モバイルカメラに着目し、写真と位置情報を利用した情報ハンドリング技術を考案している。「モバイルカメラで撮影した画像から対象を判別し、対象への情報へ簡単にアクセスできれば、単に手間を軽減するだけでなく、革新的かつ高付加価値サービスの実現を通して、様々な対象とのコミュニケーションを喚起し、より豊かな生活が可能になるであろう」という考えの基、モバイルカメラで撮影された写真の判別の研究を行っている。⁽⁸⁾では、判別対象を看板と限定し、あらかじめどの位置にこういった看板があるかといったことが登録されているデータベースを用いて判別を行っている。モバイルカメラで撮影された写真の特徴量と、GPS から得られる位置情報とデータベースとの情報を対比することによって対象の判別を行っている。

- ファジィ理論を用いた情報フィルタリング

根路銘ら⁽⁹⁾は、膨大な地理情報データからユーザが必要なデータを抽出するためにファジィ理論を適用している。ファジィ理論とは、人間が日常的に行っている「曖昧さを許容した近似的な推論」を実現するための方法である。当文献ではユーザ情報を入手し、地理的知識度や建物重要度、道路重要度などを推論してフィルタレベルを決定している。例えば地理的知識度においては、「居住地が対象地域から 近く かつ 青年であれば よく知っている」といったルールを基に推論を行っている。

- ウェアラブル環境における行動履歴を用いた情報提示

大田ら⁽¹⁰⁾は、GPS から得られるユーザの行動履歴や位置情報サービスへのアクセスログといったウェアラブルコンピュータ特有の時系列データに対して相関ルールを用いたデータマイニングを行い、順序関係を考慮した行動パターンを導出する手法を提案し、そのパターンに基づいて情報の提示や能動的な忠告、提案を行うことを目指している。

- ユーザの行動履歴から学習した場所の人気度に基づくフィルタリング

吉沢ら⁽¹¹⁾は、GPS から得られる複数ユーザの行動履歴を基に「場所の人気度」を定義しそれをスコアリングに利用している。場所の人気度を求めるのには検索エンジンである Google で用いられている PageRank というスコアリングアルゴリズムを実世界に適用させ、「多くの人気のある場所からの移動が多い場所は、やはり人気のある場所である」という再起的な関係を基に場所の重要度を判定している。また、利用者情報や関心地点情報を記述するために G-XML を拡張した記述方式を提案している。

- ユーザの行動履歴から学習したユーザの嗜好情報に基づくフィルタリング

NEC では、TPOCast というユーザ情報に基づいた情報配信システムを開発している⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。これは、「そのとき・その場で・その人に最も適した Web ページを配信する」もので、T(時間)・P(場所)・O(嗜好)を基にしたプッシュ/プル型配信を実現している。ここでのユーザの嗜好情報はユーザの行動履歴から学習している。具体的には「どのコンテンツをいつどこで閲覧したか」や「どのクーポン券をいつ使用したか」といった情報を積み重ねてユーザの嗜好情報を学習している。このシステムは松江市の観光事業において実際に実験が行われ、ユーザからよい結果を得ている。

2.4.2 情報登録方法に関する研究

- 電子メールを用いた地理情報システム

相良ら⁽¹⁵⁾は、POST GIS というシステムを提案・開発している。店舗情報などの地理情報をユーザにメールで登録してもらう。サーバ側はメール内にある場所あらかず単語を抜き出し、それを緯度経度情報に変換しデータベースに蓄積する。また、一般の Web ページに対しても同様に場所を表す単語から緯度経度情報に変換してその URL

と共に蓄積する．こうすることで従来のキーワード検索よりもより柔軟な検索を可能にし、また情報登録コストを軽減している．

- 地理的スコープと詳細度による WEB ページの分類

山田ら⁽¹⁶⁾も、文献⁽¹⁵⁾と同様に、地名の位置情報を利用して Web ページが着目する地域を特定している．例えば、既存のキーワード検索で「左京区」と検索した場合、ページ内に「左京区」という言葉があるページしか検索できない．そういったことを解消するために場所を表すキーワードを抽出し、緯度経度情報に変換している．また、Web ページに用いられている HTML タグの種類や品詞の出現度数の特徴から Web ページを「目次型」「要約型」「記述型」の3種類に分類してユーザの要求や条件によって提示している．

2.4.3 情報配信方法に関する研究

- 位置情報とスケジュール情報を用いたシステム

文献⁽¹⁷⁾では、CAMS(Context Aware Messaging Service) というシステムを開発している．この CAMS は PHS により取得される位置情報とユーザの入力したスケジュール情報を用いてユーザの通信コンテキストを推定して、受信側の状況に最も適すると思われる電話番号やメールアドレスを動的に選択し、情報を配信する．

- 放送型情報提供手法

モバイル端末でユーザが地理情報を得るためには端末とサーバ間で1対1の通信を行う必要があり、通信コストが高くなってしまふ．そこで文献⁽¹⁸⁾では、地上波デジタル放送の電波を利用して地理情報を配信することを提案している．地上波放送は半径数 km から数十 km 程度のカバー範囲を持つ多数の地方放送局から構成され、各局がその地域の情報を放送する．端末側では放送されるデータの一部を受信し、そのデータが必要かそうでないかを半別する．各局が送信するデータはコンテンツデータとメタデータから構成される．端末側ではまずメタデータを受信し、端末に付属している GPS から得られる場所情報とメタデータの場所情報を比べ、一致していればコンテンツデータを受信しそうでなければデータを受信しないという形式を取っている．この手法では、通信コストは低減できるもののユーザとの双方向性に欠けてしまうという問題点がある．

2.4.4 情報表示方法に関する研究

- 実動画像に対する情報付加

片桐ら⁽¹⁹⁾は、ビデオカメラで撮影する実写動画ラブ映像に直接被写体情報を重ねて表示し、地図等との対応付けを不要とするナビゲーションシステムの実現を目指している．対象とするのはモバイル端末ではなく、カーナビゲーションシステムはある．具

体的には GPS や電子コンパスからカメラの向きを測定し、データベース中にある建物データの位置と対比を行って表示させるシステムである。

この手法が実現できればモバイル端末においても非常に有用なアプリケーションになると思われるが、この計算コストや誤差補正の面等の問題点が非常に多くその後の報告は未だされていない。

- モバイル環境向け案内地図生成システム

携帯端末はそのサイズの関係からどうしても表示領域に限界が生じてしまい、PC を用いたインターネットで利用しているような詳細な地図を表示させることは困難となる。そこで文献⁽²⁰⁾では、ベクター形式で記述されている詳細な地図からルートマップ、サーベイマップ、デフォルトマップの3種類の略地図を動的に生成している。これは、ベクター形式の地図構造を解析し、そのオブジェクトを再配置することによって実現している。

2.5 おわりに

本章では、モバイル環境における情報推薦システムの要求条件を示し、現在ある情報推薦システムに関する既存研究を報告した。

第3章

モバイルカメラを利用した情報提示方法

3.1 はじめに

本章では、ユーザに最も分かりやすい形で情報を提示する事を目的とし、モバイルカメラで撮影された写真を利用して情報を提示する手法に関して基礎検討を行う。

3.2 地理情報表示

現状の情報検索や情報推薦システムにおいて、検索で得られたコンテンツ、あるいはシステムの推薦するコンテンツをユーザに対して提示する場合、通常の検索エンジンのようにヒットした順に上から並べていくパターンや、2D 地図に対して情報を付加して提示する場が多い。

しかしながら、これらの情報提示形式はユーザにとって直感的に分かりやすい形式とは言えず、よりユーザに便利な形式で情報を提示する必要がある。

ユーザに「分かりやすく」地理情報を提示するためには、従来の地理情報提供システムのような 2D 地図を基に情報を提供するのではなく、ユーザの視点を基に情報を提供する事が有用であると考えられる。すなわちユーザの見ている風景、ユーザから何が見えているかという情報を基に地理情報を提供する事が有効と考えられる。

ユーザが見ている風景を表示するには、高詳細な 3D 地図を用いた形式や、実映像を用いた形式が考えられる。

将来的にモバイル端末は高詳細な 3D 地図が搭載され、その地図を自由に動かせるような性能を持つと予測される。その中で GPS や電子コンパスといったデバイスから得られる情報を基に、最新の地理情報をダウンロードして 3D 地図に付加するようなシステムが実現すると思われるが、現段階としてはまだ現実的ではない。

そこで本章では、

- 理想システムの前段階のアプリケーション
- 重い処理を行わなくても実行可能なアプリケーション

として、モバイルカメラで撮影された写真をユーザの見ている景色と仮定しその写真に対して地理情報を付加するシステムを提案し、その基礎検討を行う。



図 3-1: モバイルカメラで撮影された写真に対する情報付加

このシステムのプロットを図 3-1 に示す。

3.3 写真に対する地理情報付加に必要な情報

写真に対して地理情報を付加する際に必要となる情報は大きく分けて (1) コンテンツ位置情報, (2) ユーザ位置情報の 2 種類である。これらはそれぞれ更に,

(1) コンテンツ位置情報

- 緯度
- 経度
- 高さ

(2) ユーザ位置情報

- 位置
- ユーザの向き
- 見上げている角度 (仰角)

これらの情報を基に, ”写真に何が写っているか” = ”ユーザは何を見ているか” を判断し写真に地理情報のマッピングを行う。

以下上記の情報をどのように取得するか及び管理手法を検討する。

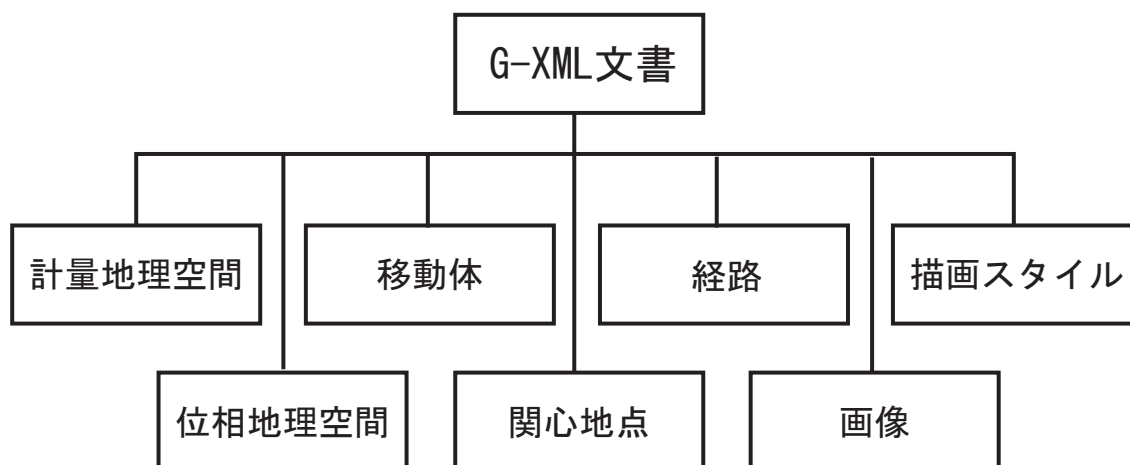


図 3-2: G-XML 文章のデータ構造

3.3.1 コンテンツ位置情報の記述方法

様々な情報をやり取りするために、コンテンツ位置情報記述には標準化された記述言語を用いる事が望ましい。わが国ではすでに G-XML^{*(5)} という地理情報記述言語が標準化されている。しかし、高さの記述や、より詳細なコンテンツ情報を記述するためにスキーマを拡張する必要がある。図 3-2 に G-XML の構造図を示す。

3.3.2 ユーザ情報の取得方法

先に述べた 3 つのユーザの現在位置に関する情報を得る手段を以下検討する。

- ユーザの現在位置

ユーザの現在位置に関しては GPS が搭載されたモバイル端末が普及していることもあり、このデバイスから得られる情報を利用できると考えられる。ただし現状搭載されている GPS の精度は完全ではなく、数メートル~の誤差が生じてしまう。そのため、写真を用いて誤差を修正する方法を検討しなくてはならない。

*2004 年 1 月現在 version3.0 が標準化されている

- ユーザの水平方向の向き (方位角)

GPS と同様にユーザがどの方向を向いているかを検出するデバイスとして電子コンパスというものがある。電子コンパス搭載型の機種も登場してきているが、しかし GPS に比べて標準的でなく、今後の展開も不明である。したがって電子コンパスが搭載されていればその情報を用いればよいが、そうでない場合は後述するように写真から方位を算出する必要がある。

- ユーザの垂直方向の向き (仰角)

仰角についてはこれを得るデバイスが存在しない。従って方位角と同様に写真から推定する必要がある。ただしこの情報に関しては、人間が通常見てい仰角の幅はあまりないという事や、仰角が多少変わっても見える物はあまり変わらないと思われるので、ある程度の幅を持たせた推定値を用いることができると考えられる。

3.4 写真からの位置情報抽出

システムとしては写真から自動的に得られる特徴量を基に、写真の撮られた位置や向き、すなわちユーザの見ている風景を決定する必要がある。

写真から自動的に得られる特徴量としては、色情報、テクスチャ、看板当の文字情報、エッジ検出による直線群が考えられる。以下、これらの特徴量について検討を行う。

3.4.1 色情報

写真に写されている建築物等の色情報を予めデータとして持っていれば、その写真の撮影された位置を特定したり、その建築物自体の判定に有用であると思われる。しかし、実際には看板等実環境は頻繁に変化し、その影響が位置特定に大きく現れてしまう。リアルタイムに近い頻度で更新される色情報データを持つことが出来るのならこういった問題は解決できるが、現実的ではない。したがって現状では色情報を利用する事はできないと考えられる。

3.4.2 テクスチャ情報，文字情報

これらの情報も先に述べた色情報と同様に、位置や建築物を特定するのに非常に有用であるが、実環境において頻繁に変化してしまうものである。したがってこれらの情報も利用することはできないと考えられる。

3.4.3 直線群

写真は3次元物体を2次元平面に射影したものとみなせ、3次元空間中で平行な直線群は2次元投影面で共通な消失点(3次元上の直線を2次元平面に射影したさいの直線同士が交

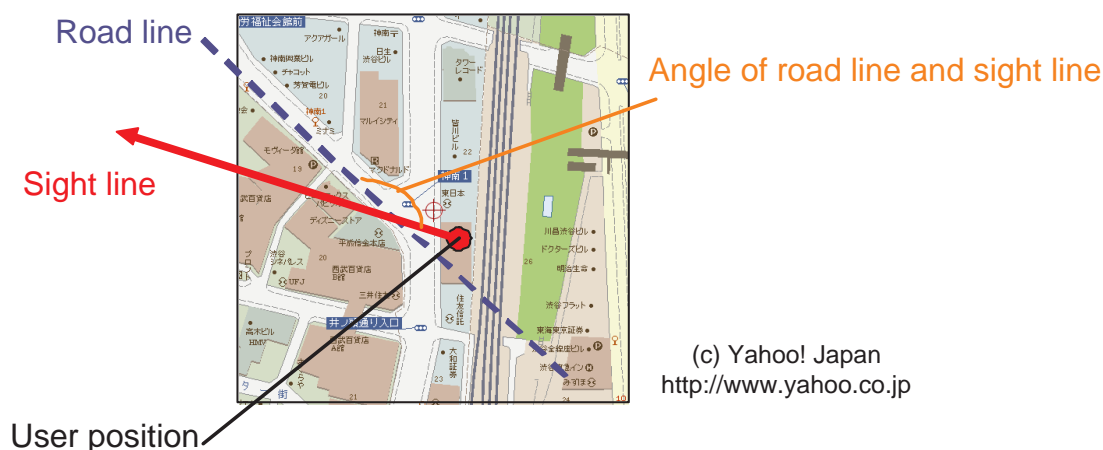


図 3-3: ユーザの視線方向決定概念図

わる点)を持つという性質がある。また、地理情報を知りたいユーザが撮影する写真は建物が中心になると考えられる。

多くの建物は単純な平面要素から構成されるため、写真の持つ画像情報を用いて消失点を検出すれば位置・姿勢情報を求めることができる。

文献⁽²¹⁾では、画像平面上の垂直方向の消失点座標1点と水平方向の消失点座標1点を得ることで視線と画像平面までの焦点距離を得ている。さらにそれらを基に共通の消失点に収束する直線群と視線方向のなす角を求めている。水平方向の消失点を構成する直線方向とは道路の方向であることが多い。これにより直線群と視線方向のなす角及び現在位置がわかり、2D地図情報があればユーザがどの方向を向いて撮影したかを求められる。この概念図を図3-3に示す。

3.5 基礎実験

文献⁽²¹⁾は建設物のみを撮影対象とした写真を用いてるため、実際の街並でどの程度消失点を構成する直線が検出できるのか未知である。そこで本章では基礎実験として、ある地点から周囲を複数枚撮影し、それらの画像にエッジ検出をし、Hough変換を行って消失点に収束する直線の検出を行う。

3.5.1 実験手順

図3-4～図3-16に示す13枚の画像に対し、以下の手順でエッジ検出・Hough変換を行い、直線及び消失点検出を行う。

1. 4近傍ラプラシアンフィルタを用い、エッジ検出を行う

2. 多数決法を使用し，Hough 変換を行い直線を検出する
3. 直線の傾きが 60 ~ 120 度の直線に対し，垂直方向の消失点を検出する (補足参照)
4. 同様に，傾きが -30 ~ 30 度の直線に対し，水平方向の消失点を検出する (補足参照)
5. 人間や自動車等の影響を減らすために画像の上から 2/3 を用いる

なお，今回は直線検出や消失点検出に用いる閾値は最もよいと思われる値を手動で定めている。

3.5.2 実験結果

図 3-4 ~ 図 3-16 の画像に対して直線検出をした結果を図 3-17 ~ 図 3-28 に示す。

図 3-19, 3-20, 3-27 に関してはひとつの建築物を対象として撮影されているため，きれいに直線が検出できている。図 3-21, 3-25, 3-26, 3-28 に関しては電線や看板等の影響でノイズ直線が検出されているものの，建築物の直線が多く検出されているため，多数決処理により消失点検出が可能である。図 3-17, 3-18 は建築物の形状が矩形でないため，直線が検出できなかった。図 3-22, 3-23, 3-24 は街路樹や電柱，看板の影響が多すぎたために，建築物の直線が検出できなかった。

3.5.3 考察

以下に今回の基礎実験を基にした考察を示す。

- ビルやビル群を撮影した場合には比較的容易に消失点を得られると思われるが，図 3-24 のように街路樹等がある場合には非常に困難になる。しかし，人間の目では図 3-24 の街路樹においても消失点を求めることが可能であり，アルゴリズム次第ではこういった画像でも検出できる可能性はあると思われる。
- Hough 変換は処理時間が長くなりやすい。これを解消するために量子化ステップを粗くすると直線の傾きの精度が悪くなり，消失点座標の誤差が大きくなってしまうという問題点がある
- 前章で述べた通り，モバイルアプリケーションには演算の高速性が求められるためこれ以上の複雑なアルゴリズムは応答時間を長くしてしまうために不可能である。

以上から，システムの高速度を求めるならば 3D 地図，電子コンパスを用いたほうが良いという結論に至った。

3.6 まとめ

本章では「分かりやすく」地理情報を提示するための手段としてモバイル端末で撮影された写真に対して地理情報を付加する事を提案し，その手法について基礎検討を行った。



図 3-4: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 1)



図 3-5: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 2)



図 3-6: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 3)



図 3-7: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 4)



図 3-8: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 5)



図 3-9: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 6)

次章では、ユーザごとに適した情報をパーソナライズ手法、特に現在最も普及している協調フィルタリング手法について記述する。

3.7 (補足) 消失点検出方法

3.7.1 消失点とは

図 3-29 に示すように、二次元平面に写された建築物を構成する直線は水平方向および垂直方向で 1 点に交わる。この点の事を消失点という⁽²²⁾。

二次元画像から消失点を検出するためには、まずその建築物を構成する直線を検出しなければならない。そこで Hough 変換を用いて直線検出を行う。

3.7.2 Hough 変換の原理

画像平面状の点 $p = (x_p, y_p)$ を通る任意の直線の傾きを a 、 y 切片を b とすると次の関係が成り立つ。

$$y_p = ax_p + b \iff b = -x_p a + y_p \quad (3.1)$$

Hough 変換ではこれを $x - y$ 画像平面上の点 p から $a - b$ パラメータ平面上の、傾き $-x_p$ 、 b 切片 y_p の直線 L_p への変換とみなす。このとき L_p 上の点 (a, b) の集合は、点 p を通る直線群のパラメータに対応しており、この L_p を点 p の特徴直線と呼ぶ。したがって、点 p と点 q を通る直線のパラメータは、それぞれの特徴直線 L_p と L_q の交点の座標に対応することになる(図 3-30)。この性質を利用すると、画像平面において直線成分を求める問題は、パラメータ平面を格子状に離散化し、特徴直線が通過する格子を投票箱として投票を行い、所与の閾値を超える票を得た格子に対応するパラメータを検出する投票法が一般的である。Hough 変換の安定性はこのような多数決原理に基づいている⁽²³⁾。すなわち、画像平面上で多くの点から成り立つ直線ほど検出されやすいということになる。この場合、格子のサイズを小さくすると直線検出の性能は向上するが、計算時間は増加してしまうという問題点がある

3.7.3 Hough 変換による消失点検出

Hough 変換は、画像平面上において一直線に並ぶ点集合が、パラメータ平面上において 1 点で交わる直線集合に対応するという幾何学的双対変換の性質を利用したものである。これを逆に考えると、画像平面状において 1 つの消失点に収束する直線集合のパラメータは、パラメータ平面上において画像平面の消失点に対応する直線上にあることが分かる。したがって、パラメータ平面に対してさらに直線検出を行う事で消失点を検出することが可能となる。



図 3-10: 実験画像 (渋谷駅周辺 - 7)



図 3-11: 実験画像 (秋葉原駅周辺 - 1)



図 3-12: 実験画像 (秋葉原駅周辺 - 2)



図 3-13: 実験画像 (秋葉原駅周辺 - 3)



図 3-14: 実験画像 (秋葉原駅周辺 - 4)



図 3-15: 実験画像 (秋葉原駅周辺 - 5)



図 3-16: 実験画像 (秋葉原駅周辺 - 6)



図 3-17: 結果画像 (渋谷駅周辺 - 1, 直線検出不可)



図 3-18: 結果画像 (渋谷駅周辺 - 2, 直線検出不可)

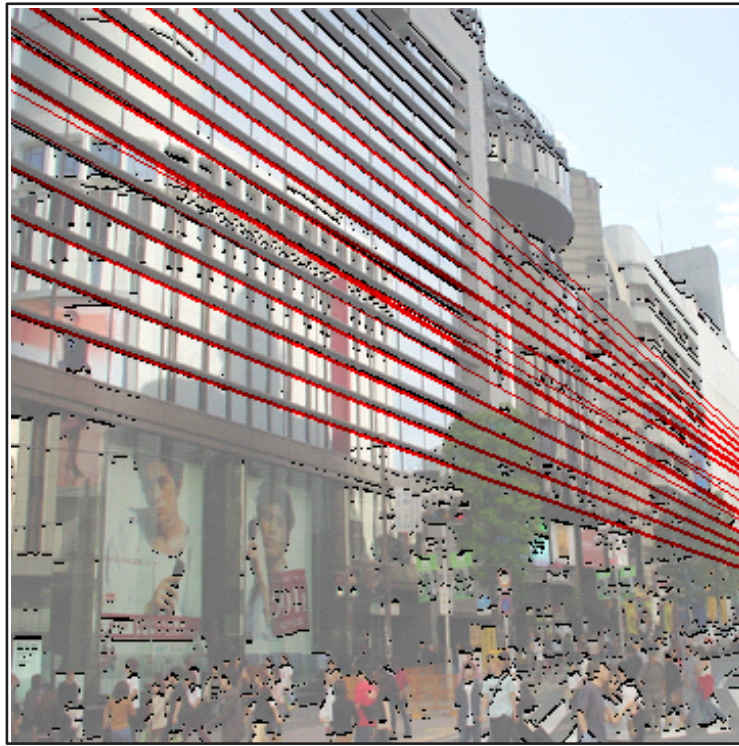


図 3-19: 結果画像 (渋谷駅周辺 - 3)

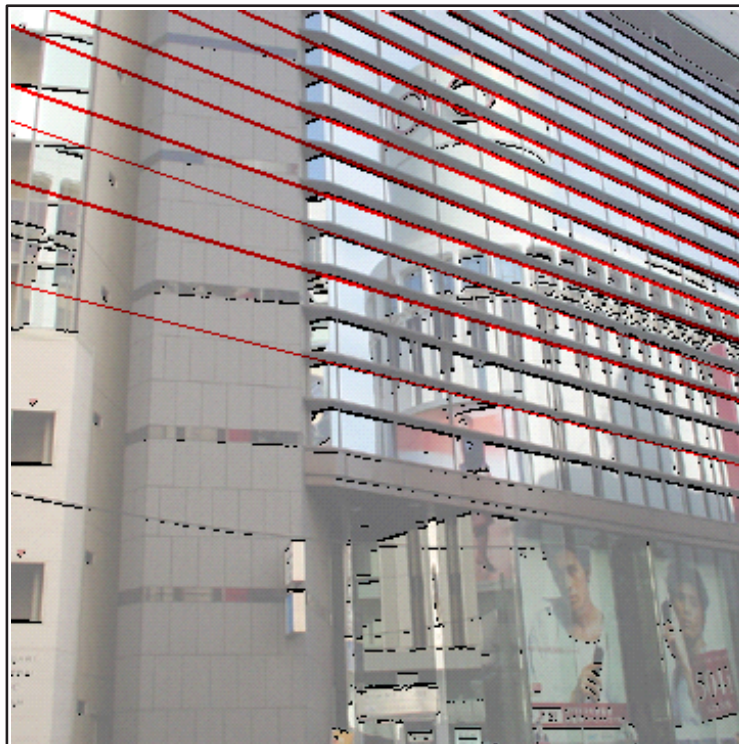


図 3-20: 結果画像 (渋谷駅周辺 - 4)

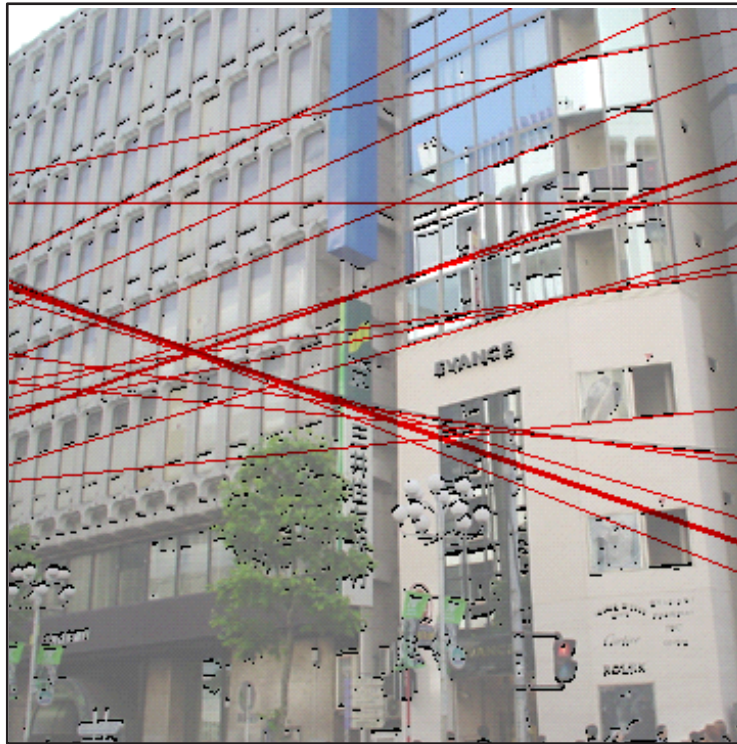


図 3-21: 結果画像 (渋谷駅周辺 - 5)



図 3-22: 結果画像 (渋谷駅周辺 - 6, 直線検出不可)



図 3-23: 結果画像 (秋葉原駅周辺 - 1, 直線検出不可)



図 3-24: 結果画像 (秋葉原駅周辺 - 2, 直線検出不可)

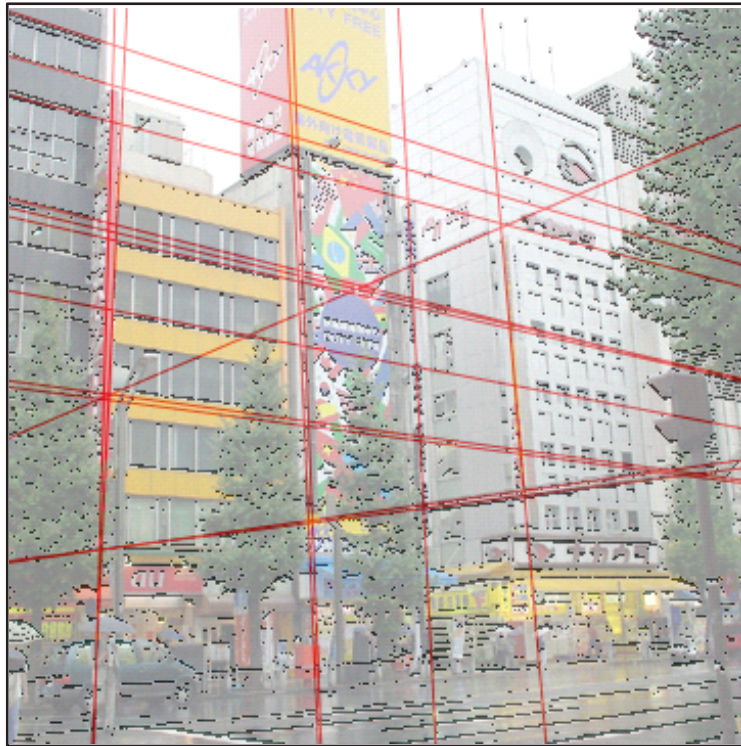


図 3-25: 結果画像 (秋葉原駅周辺 - 3)

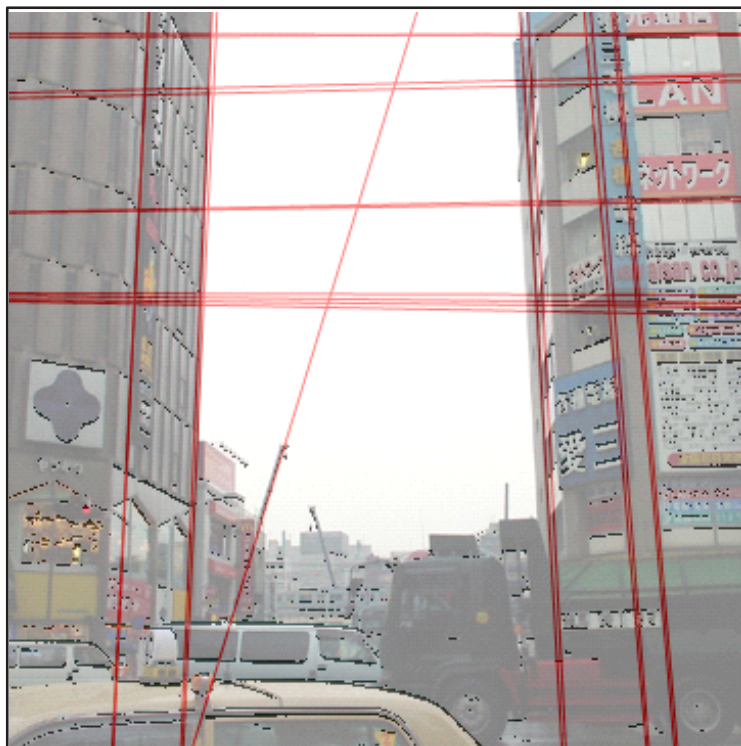


図 3-26: 結果画像 (秋葉原駅周辺 - 4)

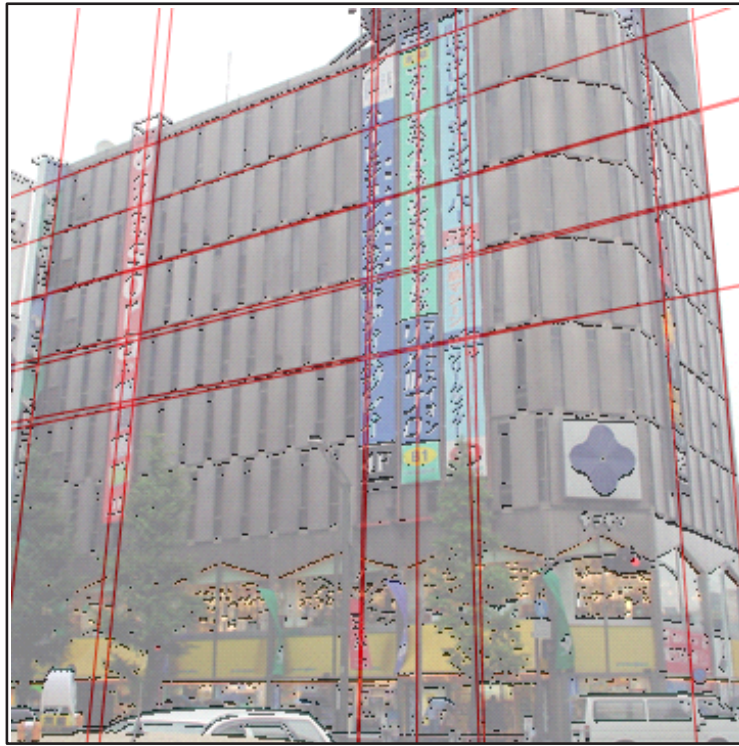


図 3-27: 結果画像 (秋葉原駅周辺 - 5)

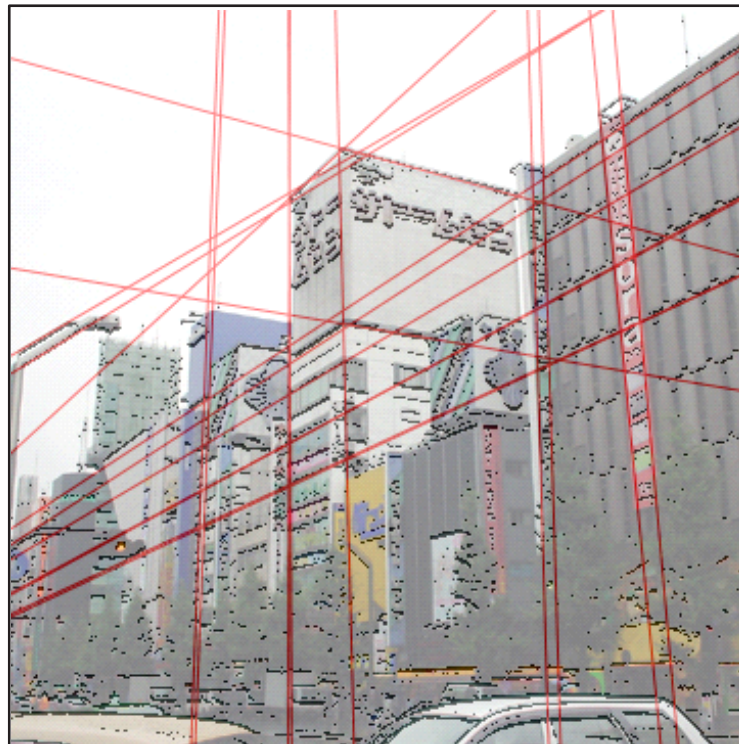


図 3-28: 結果画像 (秋葉原駅周辺 - 6)

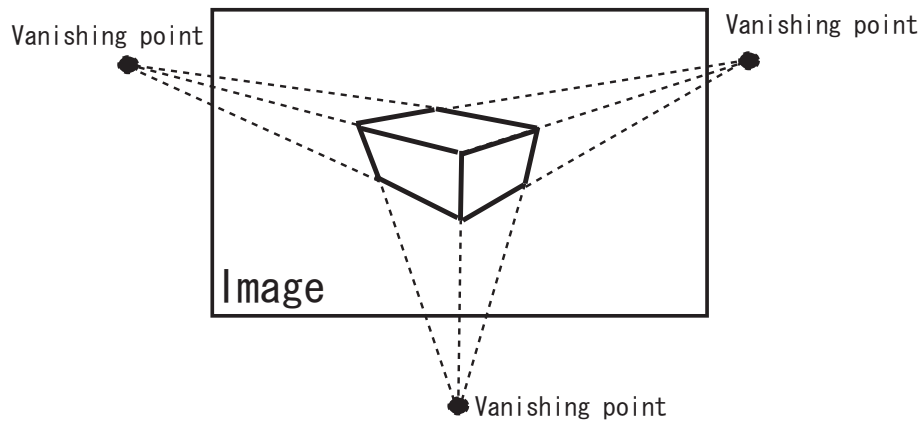


図 3-29: 画像と消失点

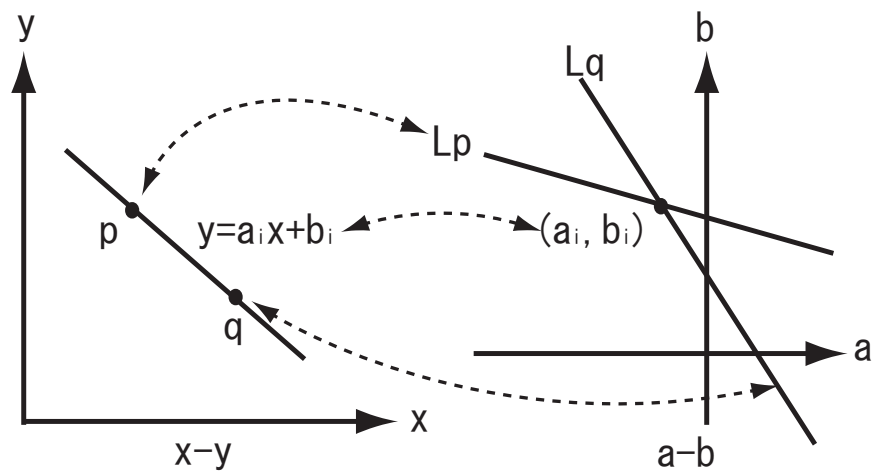


図 3-30: a-b パラメータ平面を用いた Hough 変換

第4章

パーソナライゼーションと協調フィルタリング手法

4.1 はじめに

本章では、ユーザの状況や好みに合わせて情報を配信する「パーソナライゼーション」技術について説明し、その中で現在最も普及している「協調フィルタリング手法」の概要や問題点について記述する。

4.2 パーソナライゼーション

4.2.1 パーソナライゼーションとは

ユーザの状況や嗜好にあったものをシステムが選んで推薦するシステムのことをパーソナライゼーションという。このパーソナライゼーション技術はモバイル環境に限らず様々な所で利用されている。

例えば、大手ショッピングサイト「Amazon.com」⁽²⁴⁾では、それまでの購買履歴などからその人の嗜好をシステム側が非明示的にパーソナライゼーションし、「次はこれを買いませんか」といった仕組みを備える。

それ以外にも個人の好みを学習して興味のある番組を自動録画するハードディスク装置内蔵のデジタル録画機や、ユーザの居場所や嗜好に応じて近隣の施設などを紹介してくれるカーナビ、個人が持ち運ぶ非接触 IC カードや無線タグ (RFID タグ) を用いたオンデマンド型の広告宣伝システムなどがある。

4.2.2 パーソナライゼーションのニーズ

パーソナライゼーション技術に対するニーズは、マーケティングにおける考え方が多数のユーザに多くを売って市場シェアを増やす「マスマーケティング」から顧客一人一人との関係を大事に築き顧客シェアを上げる「ワン・ツー・ワン・マーケティング」に移行するのに伴って高まりつつある⁽²⁵⁾。

また、大量の個人情報データベースに蓄積して利用するコストの低下や、製品自体を顧

客の好みに応じてカスタマイズする技術等がそろってきたため、注目を集めている。

ところが、未だ様々な課題が残されており、システムとしてはまだまだ発展途上であるのが現状である。

4.2.3 現状のパーソナライゼーションエンジン

現在のパーソナライゼーションエンジン技術を実装したプログラムは(1) プロファイルマッチング方式(静的フィルタリング方式)、(2) ルールベース方式、そして(3) 協調フィルタリング方式の3種類に分類できる⁽²⁶⁾。これらの概要を以下に記述する。

プロファイルマッチング方式

プロファイルマッチング方式はパーソナライゼーションの基もシンプルな形である。ユーザがシステムに対してあらかじめ自分の趣味や興味のカテゴリなどを登録する。この情報を利用してシステムは、そのカテゴリに合致する商品情報などを推薦する。

この方式は設定や使い方が単純で使いやすいという特徴がある。しかしながら、設定が一般に静的であるため、ユーザの嗜好の変化や、新しい商品カテゴリの登場などに追従しにくいといった問題点や、ユーザ自身が登録の手間を嫌ったり、趣味や嗜好が正直に登録されない場合があるといった問題点がある。

ルールベース方式

ルールベース方式は、エキスパートシステムを基に生まれたもので、基本的にはユーザの所作や属性などに応じて条件分岐するために書かれた多数の「if~then ルール」に従いながら、提供すべき情報を選別していく。

これはシステムを運用する現場で臨機応変にルールを記述できるので、どのような人に対して、どのようなルールを用い、どのような推薦をするのかを反映しやすいといった利点がある。

反面、細かなルールをすべてマーケティング担当者や販売担当者などが設定しなければならず、この負担を嫌い、大雑把なルールしか記述しないで「パーソナライゼーション」として稼動していないシステムも多くあるといった問題点がある。

また、ルールベース方式はパーソナライゼーションを実行する上でのルールに過ぎず、自動的にパーソナライゼーションの解を与えてくれる訳ではない。

協調フィルタリング方式

協調フィルタリング方式は、現在最も普及しているパーソナライゼーションエンジンである。これはWWWサイトなどのユーザの集団的な挙動がルールになる仕組みを採っている。具体的には、個々のユーザのアクセス履歴や商品に対する評価などのデータを分析し、その

ユーザと似た因子を持つユーザ集団を探し出す。その集団の挙動を基に、対象となっているユーザの嗜好を推測したり、情報を提供したりする。

つまり、「似ている人の考えることは、また似ているに違いない」という経験則に基づいたシステムである。

「協調フィルタリング」という言葉が初めて使われたのは米 XeroxCorp. の David Goldberg らが 1992 年に発表した「Tapestry」というシステムである⁽²⁷⁾。その後米ミネソタ大の「GroupLens」と呼ばれるプロジェクトが生まれ⁽²⁸⁾、そのメンバが Net Perception, Inc を起こし、そのシステムを Amazon.com が採用し、一気に有名になった。

協調フィルタリング手法は、先に述べた二手法における、

- 推薦対象への属性付加の困難
- ユーザプロファイル入力をユーザに強制する事における入力コストとプライバシー保護の観点における問題点
- ユーザプロファイルから対対象属性を導き出すルールを全て記述し、維持管理するコストの問題点

を解決する手法として様々なシステムに取り入れられている。

協調フィルタリングの具体的な手法は、次節に示す。

4.3 協調フィルタリング手法

4.3.1 協調フィルタリング手法のアルゴリズム

協調フィルタリング手法を用いてあるユーザ a に対するコンテンツ j を推薦する基準を求める手順は、以下の様になる。

1. ユーザの行動履歴、評価履歴を用いてユーザ-ユーザ間の相関を求める
2. 相関の高いユーザ群のコンテンツ j に対する評価値を用いて、ユーザ a に対する推薦値を計算する
3. 求められた推薦値が条件を満たしていれば推薦し、満たしていなければ推薦しない

これを数式で表すと、ユーザ a のコンテンツ j に対する推薦基準となる値は、式 4-1 の様になる。

$$P_{a,j} = \bar{v}_a + \kappa \sum_{i=1}^n w(a,i)(v_{i,j} - \bar{v}_i) \quad (4.1)$$

$$w(a,i) = \frac{\sum_j (v_{a,j} - \bar{v}_a)(v_{i,j} - \bar{v}_i)}{\sqrt{\sum_j (v_{a,j} - \bar{v}_a)^2 \sum_j (v_{i,j} - \bar{v}_i)^2}} \quad (4.2)$$

ここで、 \bar{v}_a はユーザ a の全コンテンツに対する評価の平均値、 $w(a, i)$ はユーザ a とユーザ i との相関を表す重み値、 $v_{i,j}$ はユーザ i のコンテンツ j に対する評価値、 κ は正規化するための係数、 n はユーザ数を示す。

ユーザ相関の重み値 $w(a, i)$ は、ユーザの行動履歴や評価履歴を用いて計算され、この重み値が高いユーザの評価、すなわち履歴が似ているユーザの評価値がより重視される仕組みになっている。

4.4 協調フィルタリング方式の問題点

ユーザの利用履歴からシステムが自動的に推薦するコンテンツを決定してくれる協調フィルタリング手法だが、この方式には以下の問題点が存在する⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³²⁾。

- 初期問題

ユーザの評価データの蓄積が少ないシステム使用開始直後には推薦が不正確なものになってしまう。

- スケーラビリティ

協調フィルタリングは、基本的にユーザのコンテンツに対する評価を用いているため、誰にも評価されていない新規に加えられたコンテンツを推薦する事ができない。同様に、どのコンテンツも評価していないユーザに対してはどのコンテンツも推薦する事はできない。

- 推薦精度

- 処理コスト

協調フィルタリングはユーザのコンテンツに対する評価履歴を用いた相関係数を利用しているために、ユーザやコンテンツが増加するに連れて処理時間が増大してしまう。

システムが自動的に推薦してくれるため、人手にかかるコストが少ないというメリットを重視して様々なシステムで協調フィルタリングは用いられているが⁽²⁹⁾、実際にサービスを行う場合、これらの問題点も無視できないものとなる。そのため、これらの問題、特に推薦精度やスケーラビリティに関する問題点を解決するための研究が盛んに行われている。

次節において協調フィルタリングに関する既存研究を記述する。

4.5 協調フィルタリングに関する既存研究

4.5.1 ロボットを用いた協調フィルタリングシステム

Badrul ら⁽³⁰⁾ は、誰にも評価されていないコンテンツが推薦されないという問題点を解決するために、コンテンツを自動的に評価するロボットを用いたシステムを提案している。

このシステムは主にインターネットにおけるドキュメントを対象としているもので、ユーザに対して記事を推薦や紹介する際に用いられている。

ロボットの評価基準には、スペルチェック (スペルミスが少ないほど高評価)、引用率 (他のドキュメントから文章を引用するほど低評価)、文章の長さ (短く、簡潔なものほど高評価) の3点がある。

この研究ではロボットを用いて評価したコンテンツに対してユーザが評価する実験を行っており、約40%ほどの推薦精度となっている。

4.5.2 ユーザの潜在嗜好モデルに基づいた協調フィルタリング手法

川前ら⁽³¹⁾は、協調フィルタリング手法における推薦精度を向上させるため、ユーザの潜在嗜好を利用した協調フィルタリング手法を提案している。従来の協調フィルタリングは、ユーザのコンテンツに対する評価の類似度を利用しているのに対し、当研究ではユーザの潜在的な嗜好の類似度を定義し、それを協調フィルタリングに用いている。

この手法は、あるコンテンツに対して「どのユーザが高評価をしているか」といったデータの類似度からコンテンツの重み付けを行い、それによってユーザの潜在嗜好モデルを抽出してフィルタリングを行っている。言い換えればこの手法は、ユーザベースではなく、コンテンツベースの協調フィルタリング手法と言える。

この手法はMAE(Mean Absolute Error)において従来の協調フィルタリングより良好な結果が得られている。

4.5.3 不統一対象属性を利用した協調フィルタリング手法

片山ら⁽³²⁾は、システム利用開始時における推薦の不正確を改善し、誰からも評価されていないコンテンツを推薦するために、不統一対象属性を用いた協調フィルタリング手法を提案している。

この手法は、従来の協調フィルタリング手法に用いられているユーザ-コンテンツ表(ユーザのコンテンツ評価履歴)に属性行を加え、その属性情報を基に推薦を行うものである。

これにより、問題点がある程度改善されている。しかしながら、属性行を加えるのに人手を介してしまっているため、入力コストが問題となってしまう。

4.6 モバイル環境に利用するための条件

協調フィルタリングに用いているコンテンツの評価は、ユーザが実際にそのコンテンツを評価した値(例:映画に対するユーザの5段階評価等)や、システムを利用した回数(例、レストランの紹介ページを何回みたか、等)を用いている。

一方、モバイル端末にはGPS等の位置測位デバイスが備わっている機種も多い為、サーバ側でユーザの行動履歴を管理する事が可能である。したがって、モバイル環境においては、上記の様な評価に加えユーザの行動履歴も評価値の一つとして重要な役割になると考えられ⁽¹¹⁾、推薦精度が良いシステムを構築できるのではないかと考えられる。

しかし、2章で述べたようにモバイル環境におけるシステムでは処理時間が非常に重要な

要素となる。協調フィルタリング手法は、コンテンツ数、ユーザ数が増加するに従って処理時間が増加してしまうが、文献⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾等の調査から、モバイル環境での情報推薦システムを利用するユーザ数や、対象となるコンテンツ数は今後ますます増加していく事が予測される。それに伴い、協調フィルタリング手法にかかる処理時間も増加してしまい、システムとしての高速性が維持できなくなると考えられる。したがって、モバイル環境に協調フィルタリング手法を適用する際には、推薦精度とともに、システムの処理時間が非常に重要な要素となる。

そこで本研究では、推薦精度を出来る限り落とさずに協調フィルタリング手法にかかる処理時間を低減するための手法を提案する。

4.7 まとめ

本章では、各ユーザに適した情報やコンテンツを推薦するためのパーソナライゼーション技術の概要を示し、その中で現在最も普及している手法である協調フィルタリング手法のアルゴリズム、問題点及び関連研究を報告した。また、協調フィルタリング手法をモバイル環境に適用するための検討を行った。

次章では協調フィルタリング手法をモバイル環境に適用した際における問題点となる処理時間を低減するための手法を提案する。

第5章

提案手法

5.1 はじめに

本章では，協調フィルタリングにかかる処理コストを低減させるため，ユーザクラスタリングを利用した協調フィルタリング手法を提案する．

5.2 提案手法の目的

モバイル環境において，情報推薦システムはその性質上，処理時間が非常に重要な要素となる．そこで本研究では，推薦精度を落とさずに協調フィルタリングにかかる時間を低減させる事を目的とした手法を提案する．

5.3 提案手法

5.3.1 前提条件

推薦するコンテンツは詳細なデータの上位データとして”ジャンル”等のデータを持ち，図5-1の様な階層的なデータ構造を持つものとする．

先に述べた様に，地理情報記述において G-XML や GML といった記述言語が普及しているため，この前提条件は現実的であると考えられる．

5.3.2 仮定

協調フィルタリングにおいて最も処理時間がかかるのは，ユーザ-ユーザ間の相関係数を求める部分である．一方，協調フィルタリングにおいては相関の小さいユーザの評価値は結果にほとんど反映されないという特徴を持つ．

したがって，あらかじめ相関の強いと思われるユーザ群が分かっているならば，相関係数を求めるのはそのユーザ群に対してのみ行えばよく，結果的にシステムにおける処理時間が少なくなると言える．また，相関の強いユーザ群というのは，嗜好性の似たユーザ群であると言えるので，推薦精度がより向上すると予測できる．

つまり，システムとしては

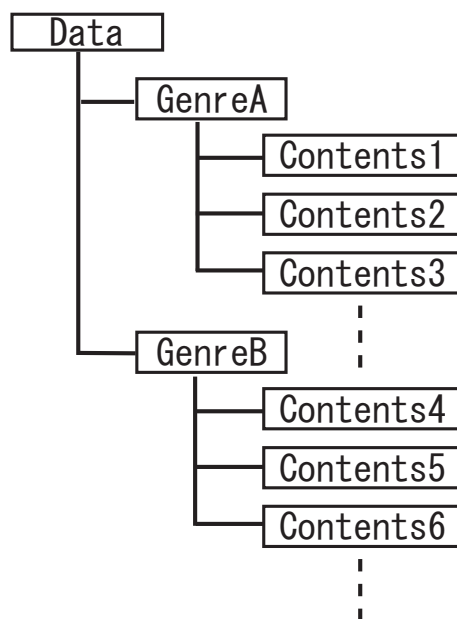


図 5-1: 前提とするデータ構造

1. ユーザプロフィールを用いてクラスタリングを行う
2. あるユーザにコンテンツ推薦する場合、そのユーザの属するクラスタ内にいるメンバに対して協調フィルタリングを適用する

ことにより、処理時間の低減および推薦精度の向上が図れると考えられる。

5.3.3 ユーザクラスタリングを用いた協調フィルタリング

クラスタリングに用いるユーザプロフィールにコンテンツの評価履歴、利用履歴を用いてしまうと、コンテンツの数だけ次元数ができてしまう。一般に、クラスタリング対象数に対して、次元数が多すぎるとクラスタリングにかかる時間が膨大なものとなり、またクラスタリング精度が落ちてしまう⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾。

そこで、本提案手法では、「コンテンツの評価履歴が似ているユーザは、また上位データ(ジャンル、等)に対する評価履歴も似ているに違いない」という仮定のもとで、

1. ユーザの上位データ評価履歴を用いてクラスタリングを行う
2. クラスタ内で協調フィルタリングを行う

という2段階の処理を行う事で、推薦精度を落とさずに高速化する手法を提案する。クラスタリングに用いる特徴量に、コンテンツ評価履歴ではなく、上位データの評価履歴を用いるのは、次元数を削減し、演算速度を速める為である。図 5-25-3 に従来手法と提案手法の違いを示す。

次章においてこの提案手法の処理時間、推薦制度についてシミュレーションを用いて検証する。

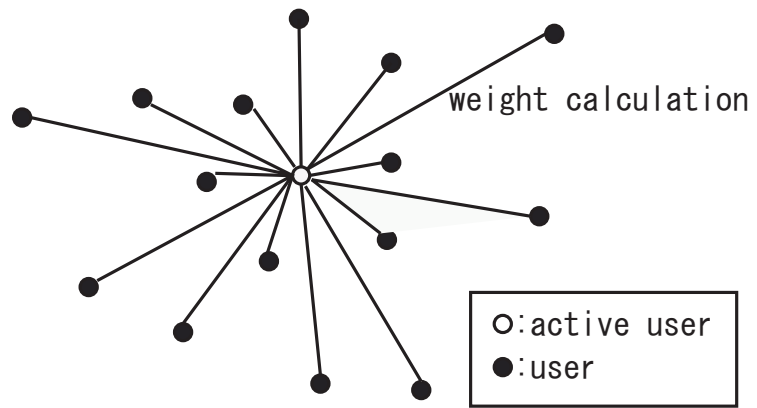


図 5-2: 従来手法

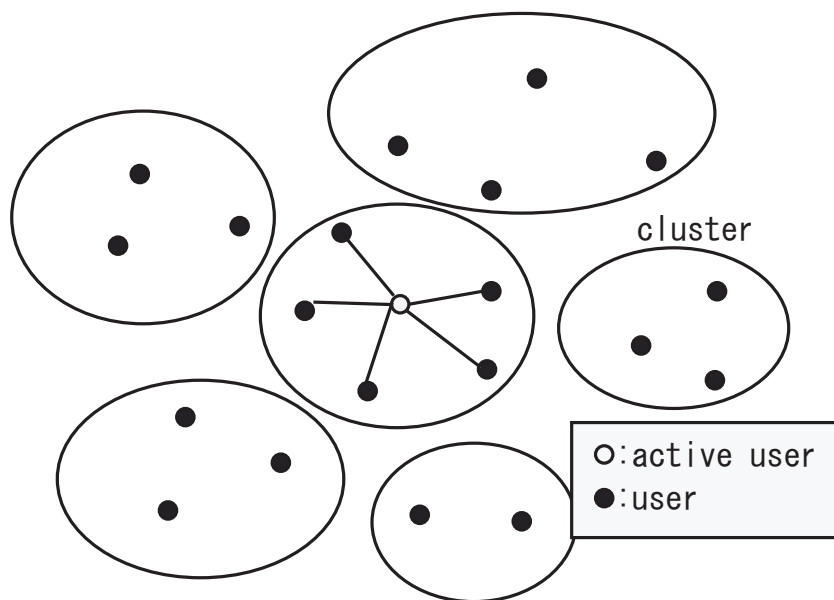


図 5-3: 提案手法 (クラスタリング有り)

5.3.4 クラスタ再構築の検討

本提案手法におけるクラスタリングには、ユーザの評価履歴を用いてクラスタリングを行っている。すなわち、同クラスタ内にいるメンバは似たような嗜好の持ち主であるという事が言える。

クラスタを固定したままでは、ユーザの嗜好に変化が生じ、ユーザプロフィールが大きく変化した際において、推薦精度が大きく低下してしまうことが予想される。また、クラスタ内のメンバ数が増加すると、再び処理時間の増大を招いてしまう。そこで、ユーザの嗜好の変化やクラスタ内の人数の変動に対応するために、状況に応じてクラスタの分割や再構築を行う必要がある。

5.3.5 クラスタ再構築の提案アルゴリズム

ユーザはクラスタセントロイドとの距離に応じて、クラスタからの離脱や参入、新規クラスタの作成を行い、クラスタは所属するメンバの数により分割や結合を行う。

本研究において提案するクラスタ再構築の手順を以下に示す。また、その流れを図 5-4, 図 5-5 に示す。これらはシステムの利用がある程度進み、クラスタリングは既に行われているという条件の下で行う。

ユーザのクラスタ参入・離脱の手順

1. ユーザがコンテンツを利用・評価する毎にカウンタを増やす
2. カウンタの値が閾値 1 以上になったら、所属するクラスタセントロイドとの距離を測定する
3. クラスタセントロイドとの距離が閾値 2 以下であれば最初に戻り、閾値 2 以上であれば自分の所属するクラスタ以外のクラスタのセントロイドとの距離を測定する
4. そのうち、距離が最小のクラスタセントロイドとの距離が閾値 3 以下であればそのクラスタに所属し、閾値 3 以上であれば新しいクラスタを作成し、そのクラスタのセントロイドになる。
5. 1~4 を繰り返す

クラスタの分割・結合の手順

1. ユーザの離脱・参入が起きる毎にカウンタを増やす
2. カウンタが閾値 4 以上になったらセントロイド座標を計算し直し、そのときのクラスタメンバ数を数える
3. メンバ数が閾値 5 以上ならばクラスタを二つに分割し、1に戻る

4. メンバ数が閾値 5 以下でかつ閾値 6 以上ならば 1 に戻る
5. メンバ数が閾値 5 以下でかつ閾値 6 以下ならば，最も近いクラスタと共に協調フィルタリングを行う (仮に，メンバ数が閾値 5 以下かつ 6 以下のクラスタをクラスタ A，クラスタ A に最も近いクラスタをクラスタ B とすると，クラスタ A に所属するメンバに対して推薦を行う際はクラスタ A とクラスタ B のユーザに対して協調フィルタリングを適用するが，クラスタ B に所属するメンバに対して推薦を行う際はクラスタ B のメンバに対してのみ協調フィルタリングを適用する) .
6. メンバ数が閾値 6 以上になったら 1 に戻る
7. 1~6 を繰り返す

クラスタの分割・結合は，システム内の全てのクラスタの状態を管理するクラスタマスターで行う .

subsection 考察本研究で提案するクラスタ再構築アルゴリズムは，閾値パラメータの設定によって結果が多きく変動すると考えられる . 図 5-4 における $th1$, $th2$ を小さくすると推薦精度の向上や嗜好の変化への柔軟な対応が可能になると考えられるがその分処理時間が増加してしまう . 逆に， $th1$, $th2$ を大きくすると処理時間は少なくなるが，推薦精度の劣化や嗜好の変化への対応が難しくなる .

すなわち，推薦精度と処理時間がトレードオフの関係になるため，適格なパラメータ値を設定する必要がある .

5.4 まとめ

本章では，協調フィルタリングの処理を高速化させるため，ユーザクラスタリングを用いた手法を提案し，嗜好の変化に対応する為のクラスタ再構築の手法を提案・検討を行った .

次章において，シミュレーションを用いてユーザクラスタリングを用いた場合の推薦精度および処理時間の検証を行う .

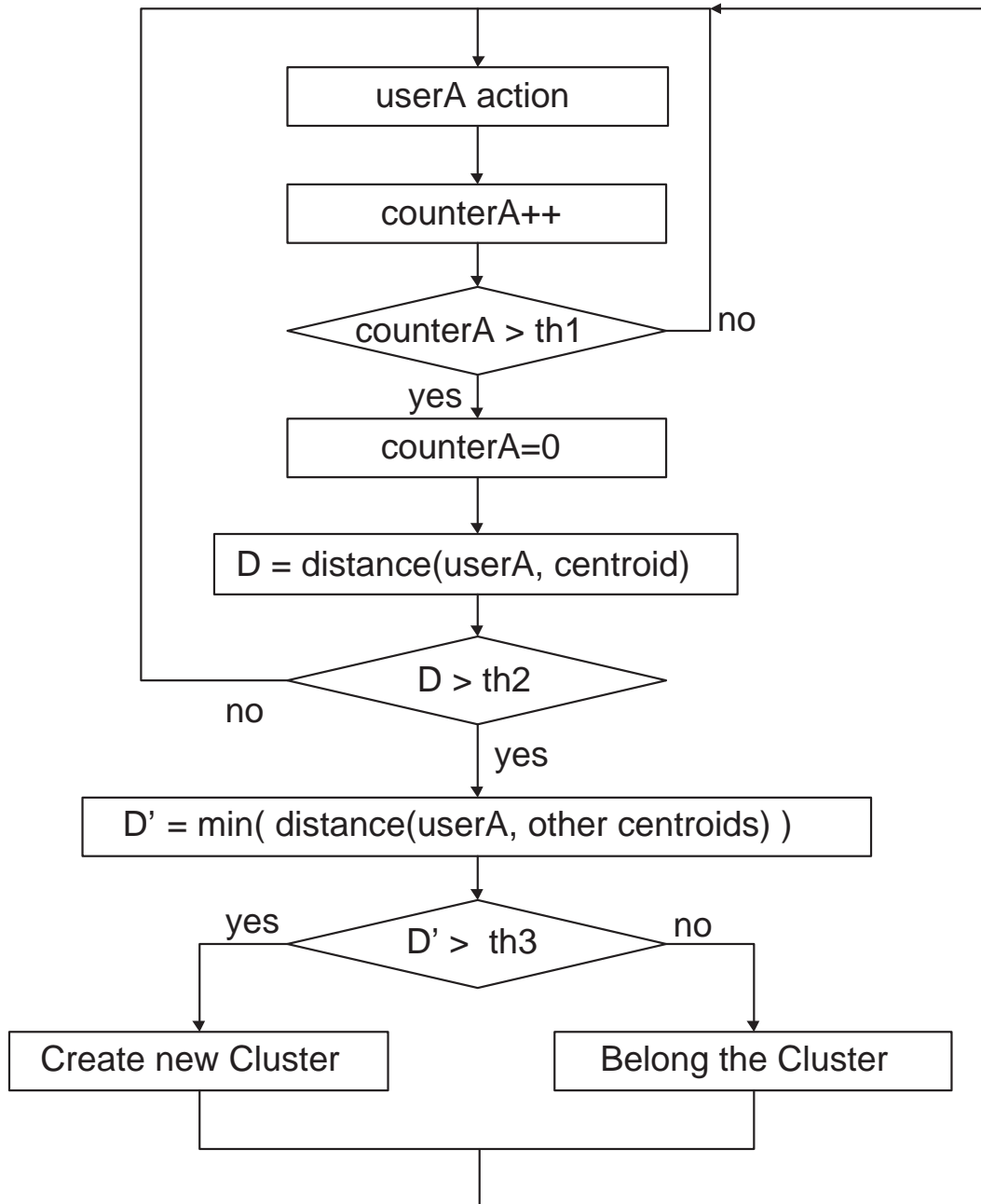


図 5-4: ユーザのクラス参加・離脱の流れ

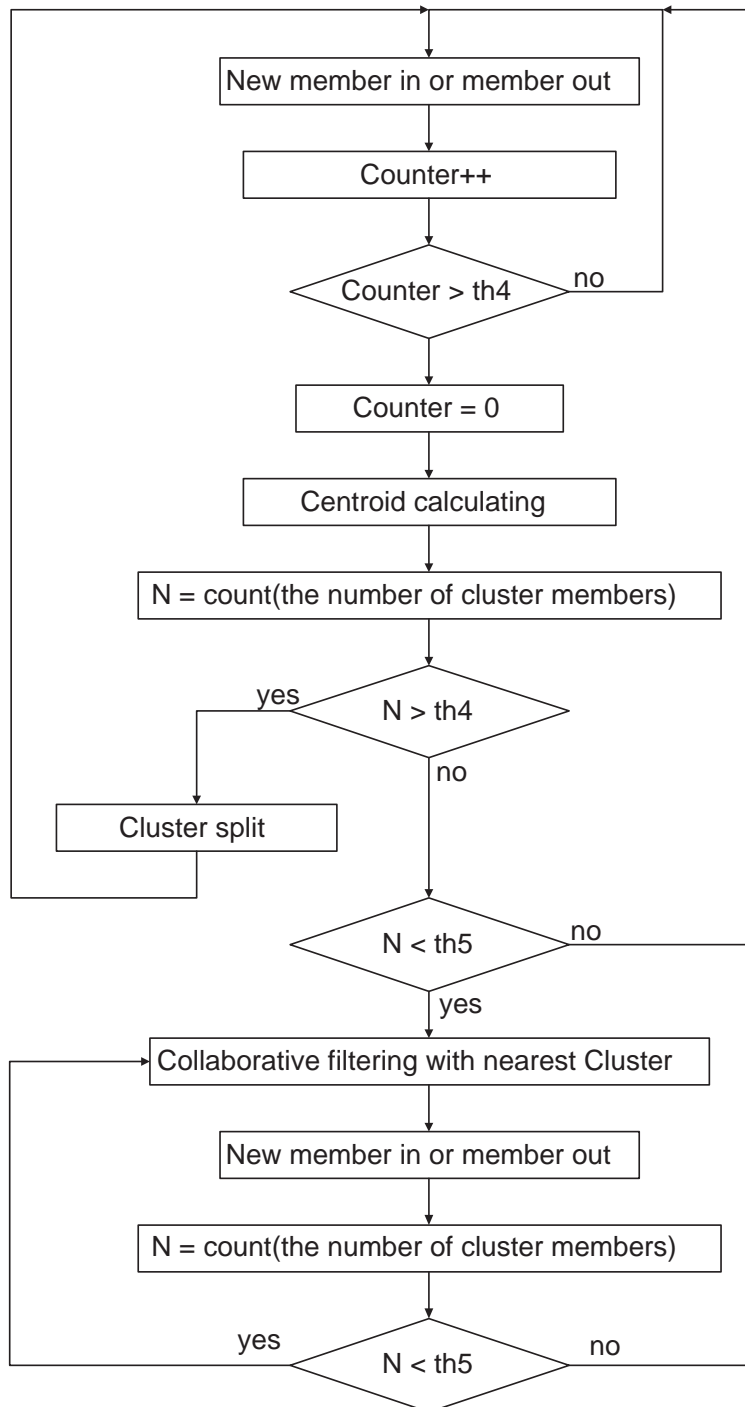


図 5-5: クラスタの分割・再構築の流れ

第6章

シミュレーションによる評価

6.1 はじめに

本章では、前章に示した本研究の提案手法である、ユーザクラスタリングを用いた協調フィルタリングについて、処理時間と推薦精度の面でシミュレーションを行い、性能を検証する。

6.2 使用コンテンツ

システムがユーザに対して推薦するコンテンツは、コンテンツ数 100、ジャンル数 5 の Web ページとする。

6.3 評価基準

本シミュレーションは、処理時間、推薦精度の 2 点で評価を行う。

6.3.1 処理時間

全ユーザが一人一回推薦要求をした場合の処理時間を測定し、比較する。ここでの処理時間とは、協調フィルタリングを用いて各ユーザに対する各コンテンツの推薦値を決定するまでの時間のことを指す。

したがって、クラスタリングにかかる時間は処理時間には含まない。

6.3.2 推薦精度

協調フィルタリング手法を用いた情報推薦システムは、ユーザが評価していないコンテンツに対する推薦値(推定評価値)を求めて情報を推薦するシステムである。したがって、ユーザが評価しているコンテンツの評価値と、そのコンテンツ以外の評価値を利用した協調フィルタリングの結果から得られる推薦値を比較することで推薦精度の評価が行える⁽²⁹⁾⁽³¹⁾⁽³²⁾⁽³³⁾。

そこで、本研究では、シミュレーションの入力用に作成したユーザの評価モデルの値と、

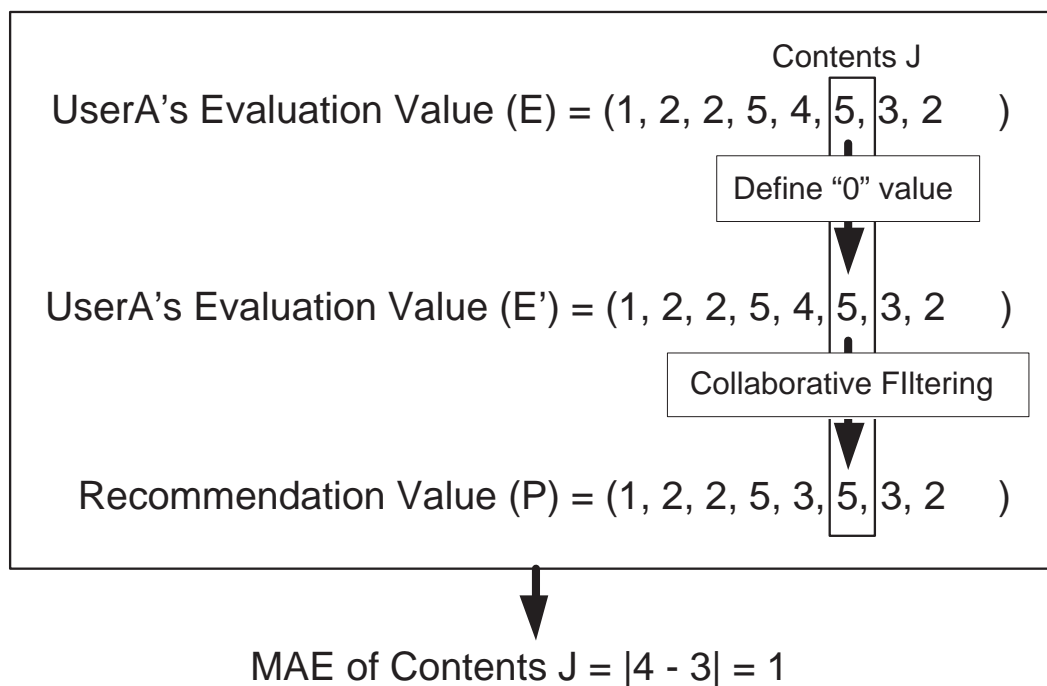


図 6-1: MAE 算出の流れ

その評価モデルを用いて協調フィルタリングを施した推薦値を比較することによって行い、従来手法と提案手法の推薦精度の比較を行う。

システムの推薦精度評価基準には文献⁽²⁹⁾ や⁽³³⁾ 等で用いられている、MAE(Mean Absolute Error)、Top-N のコンテンツによる評価、閾値以上のコンテンツによる評価の 3 種類を用いる。以下これらの評価基準について説明する。

MAE

ユーザの評価モデルの評価値と、協調フィルタリングの結果による推薦値の誤差を用いて評価する。すなわち、MAE が小さいほど推薦精度のよいシステムとなる。

ユーザ数を N 、コンテンツ数を M 、ユーザ i のコンテンツ j に対する評価値を $r_{i,j}$ 、推薦値を $p_{i,j}$ とすると MAE は式 6-1 で求められる。

$$MAE = \frac{1}{NM} \sum_i^N \sum_j^M |p_{i,j} - r_{i,j}| \quad (6-1)$$

図 6-1 に MAE 算出の流れを示す。

Top-N のコンテンツによる評価

上位 N 番目までに従来手法と提案手法でどれだけ共通した結果が得られているかを評価する。

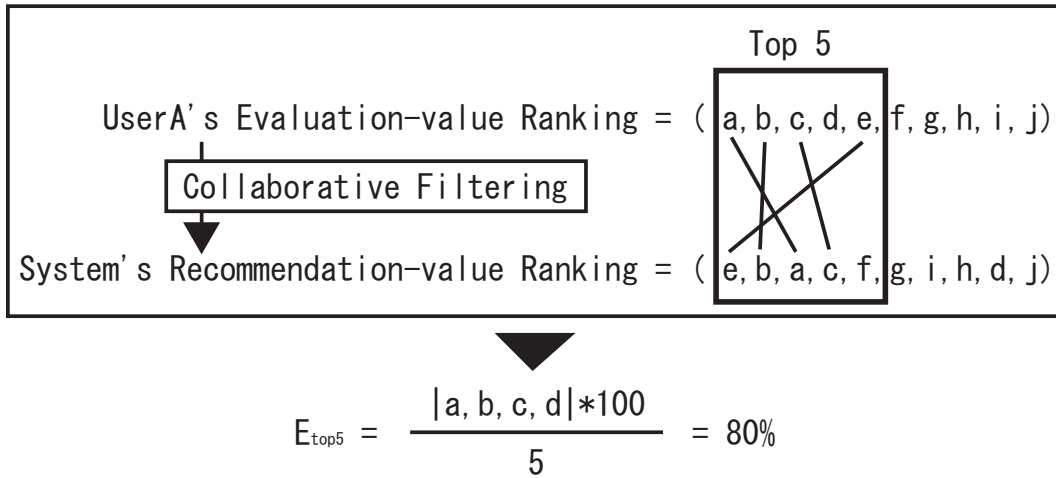


図 6-2: 上位 5 つのコンテンツによる評価の流れ

ユーザの評価モデルによるデータセットを $|test|$, 協調フィルタリングの結果得られるデータセットを $|CF|$ とすると, 上位 N 番目までの評価値 E_{topN} は式 6-2 で表される .

$$E_{topN} = \frac{|test|_{topN} \cap |CF|_{topN}}{N} \times 100 \tag{6-2}$$

本シミュレーションでは, $N = 5$ と $N = 10$ の場合で評価を行う . 図 6-2 に上位 5 つのコンテンツによる評価の流れを示す .

閾値以上のコンテンツによる評価

推薦値が閾値以上のコンテンツを推薦した場合 ,

- 協調フィルタリングで得られた結果はどれだけ正しいか (適合率 , *precision*)
- ユーザの評価モデルをどれだけ再現できたか (再現率 , *recall*)

を評価する . 適合率 , 再現率はそれぞれ式 6-3 , 6-4 で表される .

$$precision = \frac{|test| \cap |CF|}{|CF|} \times 100 \tag{6-3}$$

$$recall = \frac{|test| \cap |CF|}{|test|} \times 100 \tag{6-4}$$

また , 推薦に用いる閾値は式 6-5 , 式 6-6 の二種類を用いる .

$$th1 = \frac{Max(P) + min(P)}{2} \tag{6-5}$$

$$th2 = AVERAGE(P) \tag{6-6}$$

図 6-3 に閾値以上のコンテンツによる評価の流れを示す .

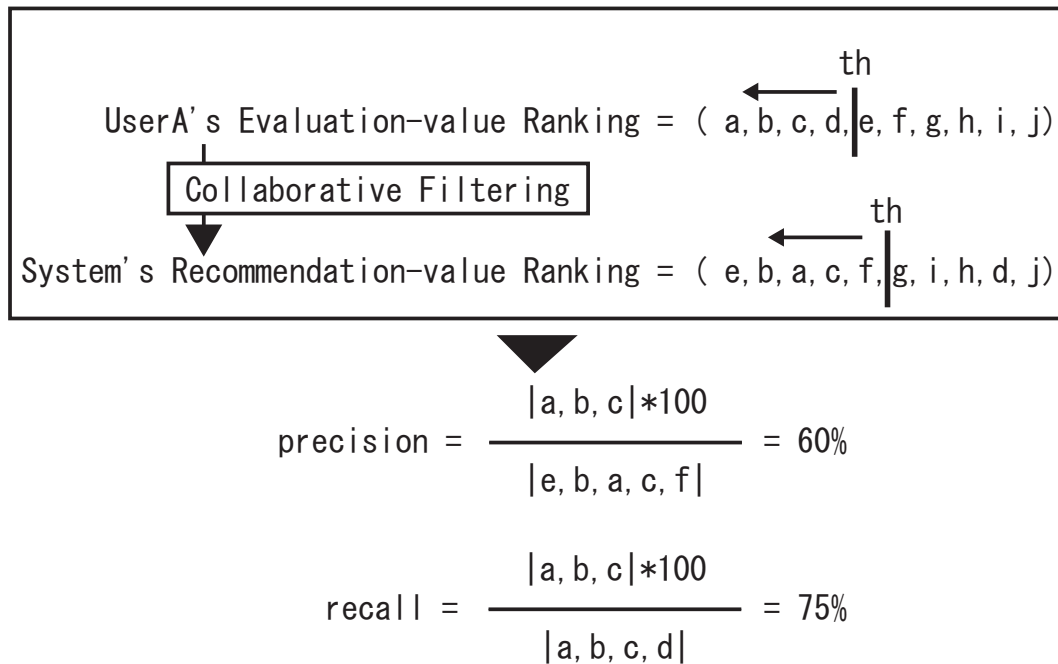


図 6-3: 閾値以上のコンテンツによる評価の流れ

6.4 処理速度・推薦精度の検証

6.4.1 シミュレーションモデル

以下に、本研究におけるシミュレーションの流れを示す。また、図 6-4 にその概略図を示す。

1. ユーザ数，入力モデル，クラスタ数を設定する
2. 1の条件に従い，ユーザプロフィール（ユーザのコンテンツ評価履歴）を作成する
3. ユーザプロフィールを正規化する
4. 全てのユーザが一人一回ずつシステムを利用したと仮定して，通常の協調フィルタリングを行い各ユーザに対する推薦値を求める
5. 1で設定したクラスタの数だけ，k-means(後述)法を用いてユーザをクラスタリングする
6. 各クラスタ毎に協調フィルタリングを行う
7. 4と6の結果を比較し，実行時間，推薦精度の2点でシステムを評価する
8. 1のパラメータを変更し，シミュレーションを繰り返す

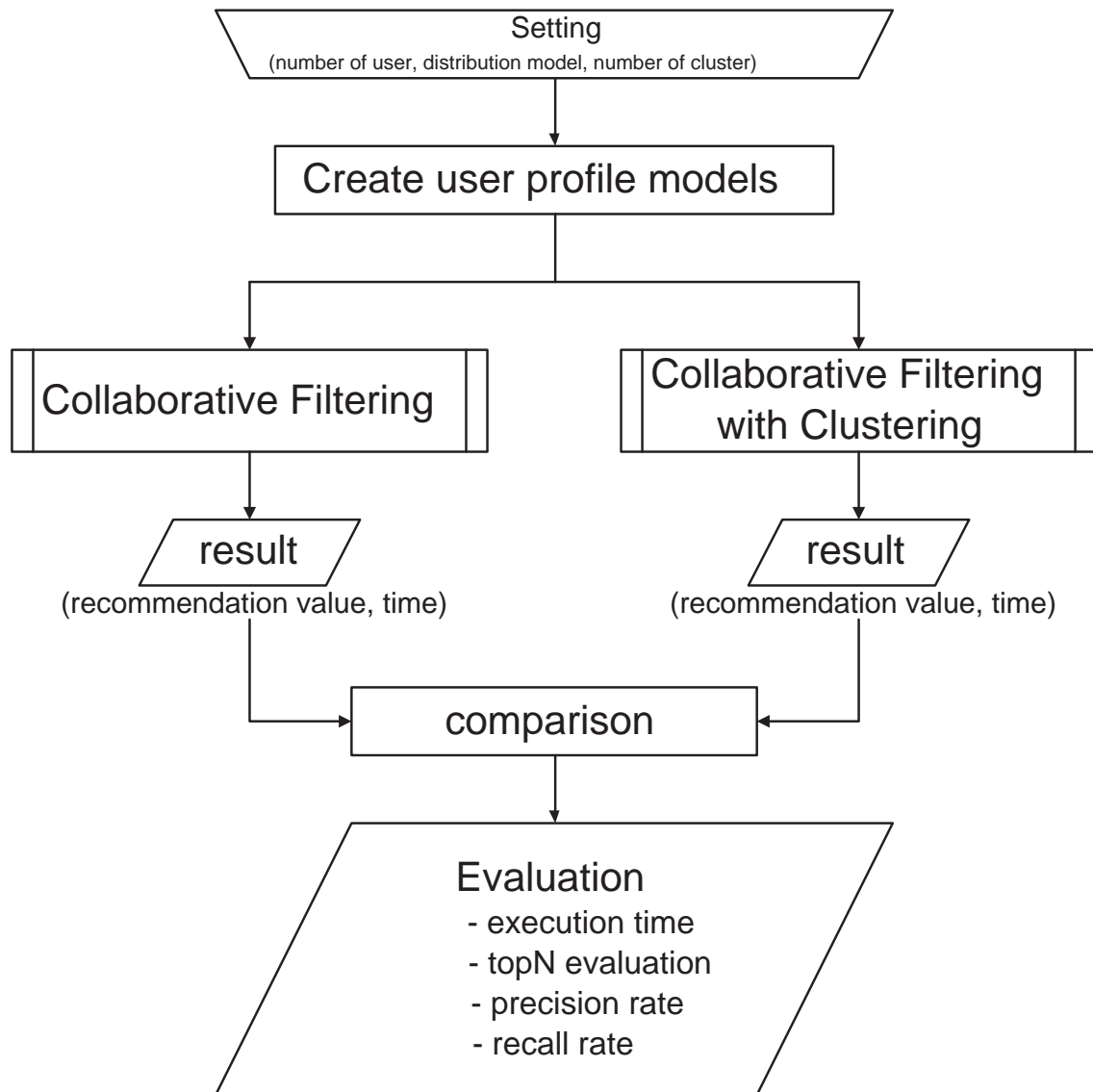


図 6-4: シミュレーションの流れ

6.4.2 入力モデル

本シミュレーションにおけるユーザのコンテンツ評価値は、コンテンツを閲覧した回数とする。

ユーザのコンテンツ閲覧履歴は、実データが手に入らないために、以下の2つの分布を用いて仮想的なコンテンツ評価モデルを作成し、それを利用する。

ランダム分布

Javaにおける、Mathクラスのrandom()を用いて疑似乱数を発生させ、その分布に従ってコンテンツ閲覧回数を決定する。

この分布を用いると、コンテンツ分布の偏りが少なくなるため、「嗜好性の少ないユーザ群」として利用できると考えられる。

Zipf分布

Zipf分布とは、言語学者のG.K.Zipfが発見した「英文中の単語の出現頻度を調べ、頻度がn番目の単語は、頻度が1番目の単語の1/nの確率で現れる」という法則に従った分布である。図6-6に300の要素の場合のzipf分布図を示す。

また文献⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾の報告から、ウェブサイトの人気度もこのZipf分布に従う事が確認されている(図6-6参照)。

したがって、この分布に従ってコンテンツ閲覧回数を決定する事により、「嗜好性の強いユーザ群」として利用できると考えられる。

6.4.3 (補足)k-means クラスタリングアルゴリズム

本シミュレーションのクラスタリングに用いているk-meansアルゴリズムを以下に示す。

1. クラスタ数を設定する
2. 設定したクラスタ数だけ、初期セントロイドユーザ(クラスタの中心)をランダムに設定する
3. 2で設定した以外のユーザと、全セントロイドユーザとの距離を測定する
4. 3の結果が最も小さいセントロイドの属するクラスタに参入する
5. 2, 3を全てのユーザで行う
6. 全クラスタにおいて、セントロイドユーザを再計算する
7. 全クラスタにおいて、クラスタ内ユーザと、セントロイドユーザとの距離の総和を計算する

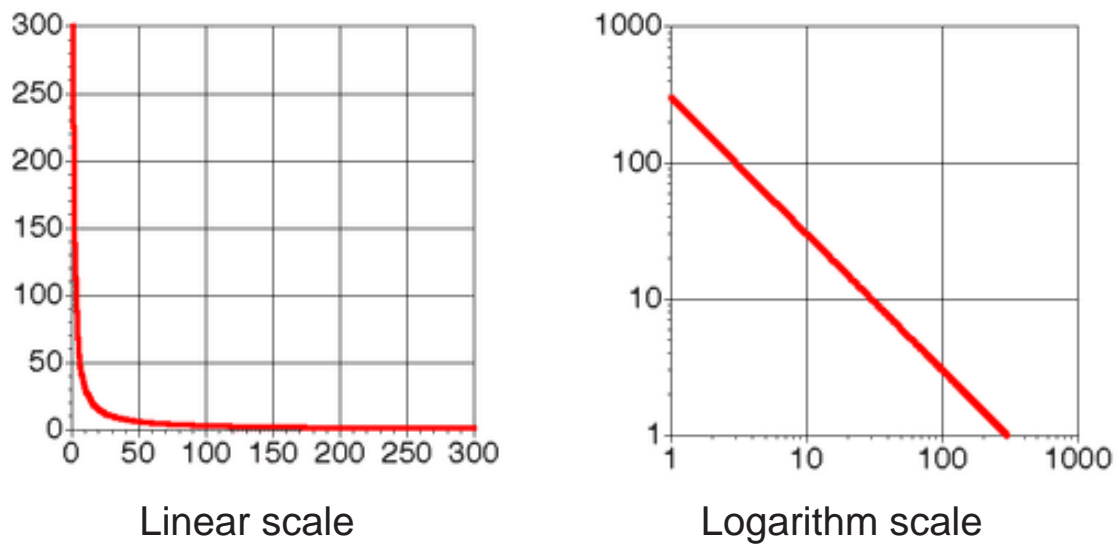


図 6-5: zipf 分布 (文献⁽³⁹⁾ より引用)

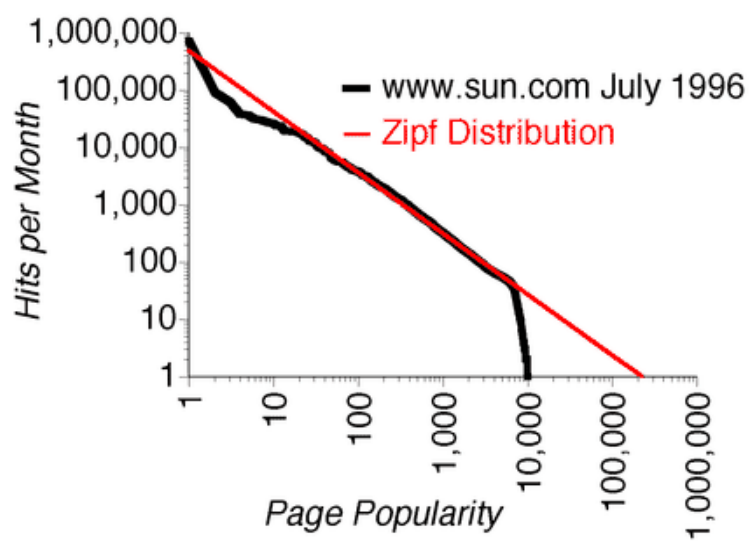


図 6-6: zipf 分布と Web サイトの人気度 (文献⁽³⁹⁾ より引用)

表 6-1: 実験パラメータ

入力モデル	Random 分布, Zipf 分布
ユーザ数	1000, 2000, 3000, 4000, 5000
クラスタ数	5, 10, 20, 30
コンテンツ数	100
ジャンル数	5

8. 全クラスタの距離の総和を足し合わせる

9. 3~7を繰り返し、8の結果と一つ前の8の結果を比較し、収束したらそこで処理を終了する

10. 初期セントロイドユーザを変更して2~9を繰り返し、準最適なクラスタリングを行う。

10の処理は、あらかじめ繰り返し回数を決め、その中でセントロイドとの距離の総和が最も小さかったときのクラスタリング結果を準最適解として用いる。

6.4.4 実験条件

表 6-1 に示すパラメータを変化させそれぞれ 10 回ずつシミュレーションを行い、その平均処理時間、平均推薦精度を評価する。

6.5 シミュレーション結果

6.5.1 処理時間

図 6-7 に入力モデルが Zipf 分布の場合の処理時間を、図 6-8 に入力モデルが Random 分布の場合の処理時間を示す。

図 6-7, 図 6-8 から、Zipf 分布・Random 分布のいずれの場合でもクラスタリングを行う事により処理時間が低減されている事が確認できた。

6.5.2 推薦精度

図 6-9 から図 6-15 に Zipf 分布を用いたときの推薦精度、図 6-16 から図 6-22 に Random 分布を用いたときの推薦精度 (MAE, Top-5 での評価, Top-10 での評価, precision, recall) を示す。

Zipf 分布を入力モデルにした場合では、本提案手法は従来手法に比べ推薦精度が向上している事が分かる。Random 分布においても、Zipf 分布程ではないにしろ従来手法と同等かそれ以上の結果が得られる事が確認された。

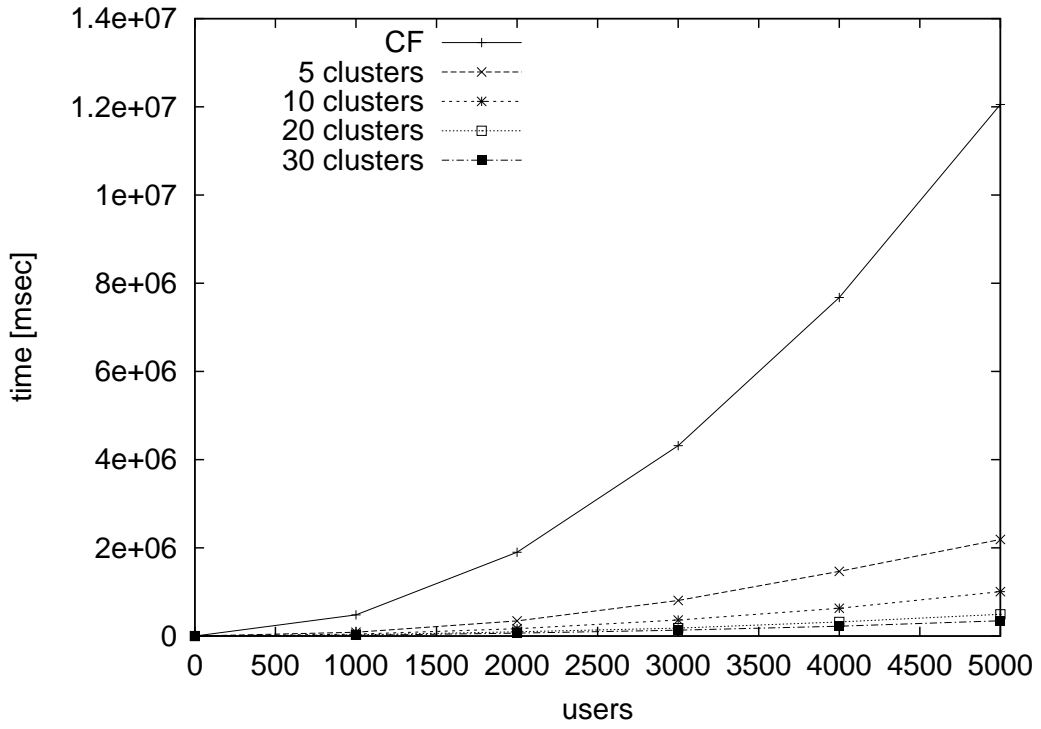


図 6-7: 処理時間 (Zipf 分布)

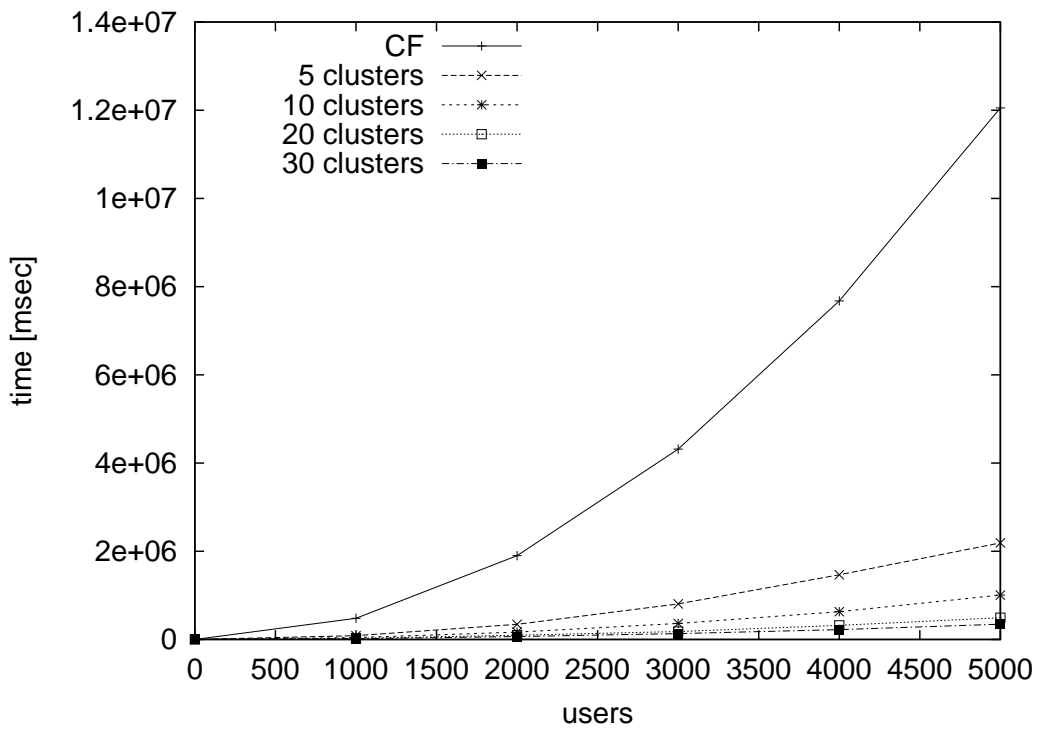


図 6-8: 処理時間 (Random 分布)

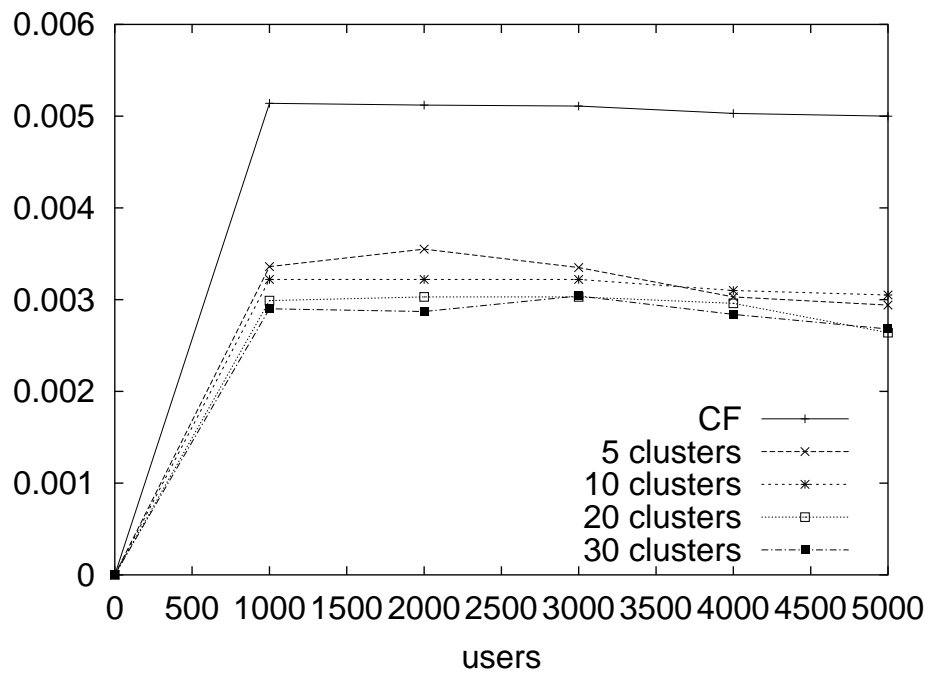


図 6-9: MAE による評価 (Zipf 分布)

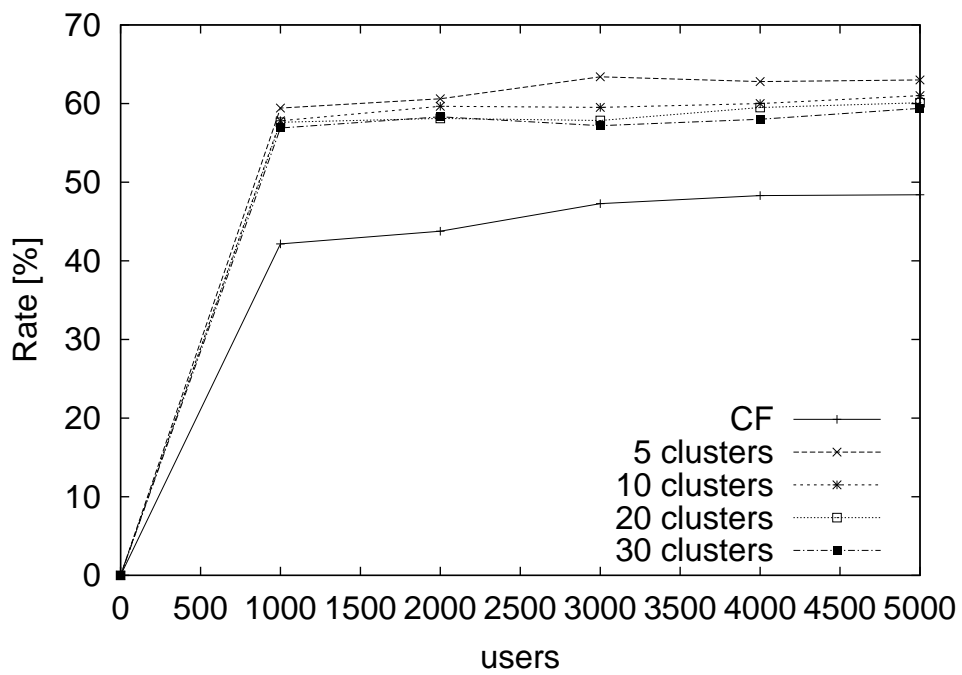


図 6-10: Top-5 の評価 (Zipf 分布)

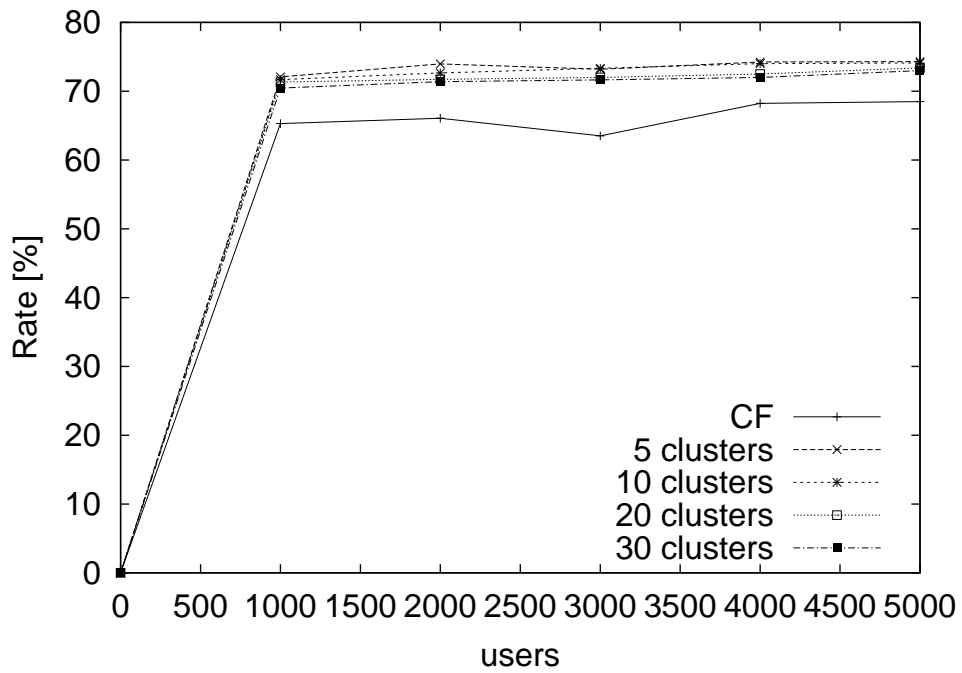


図 6-11: Top-10 の評価 (Zipf 分布)

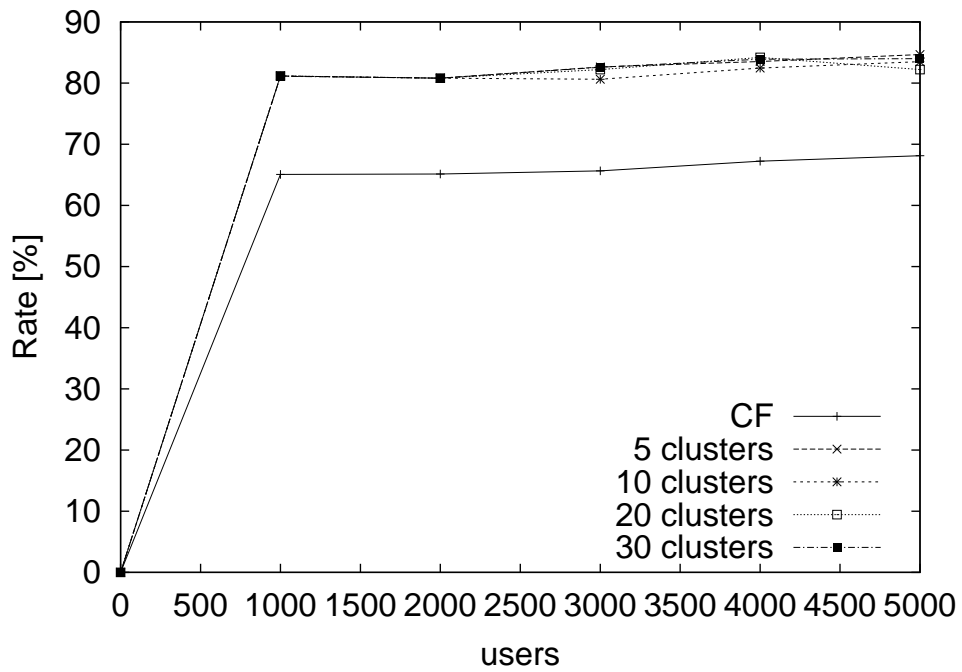


図 6-12: th_1 以上の precision (Zipf 分布)

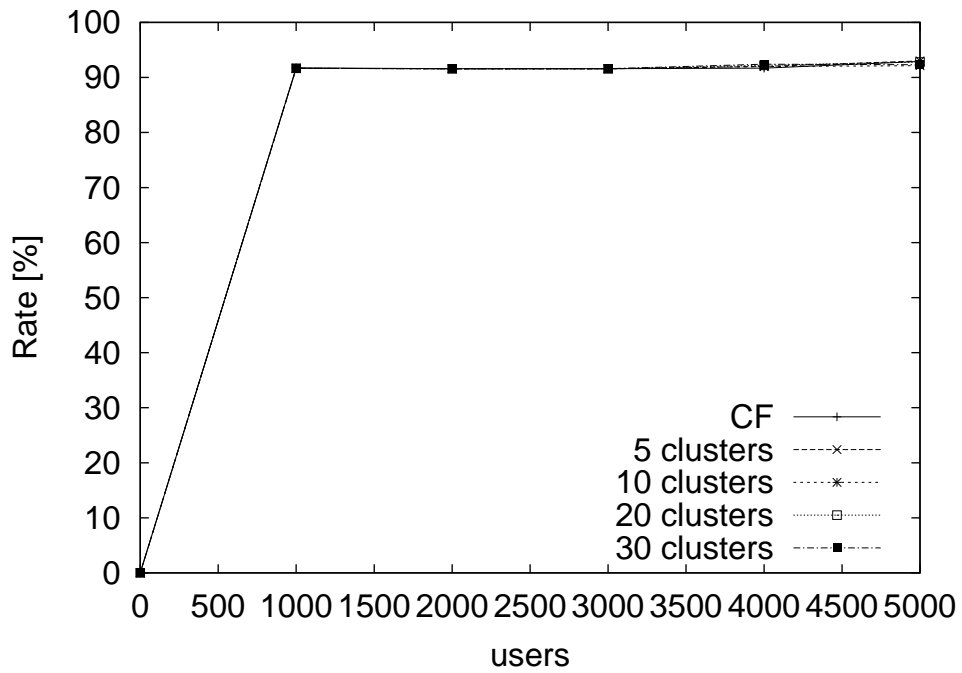


図 6-13: th1 以上の recall (Zipf 分布)

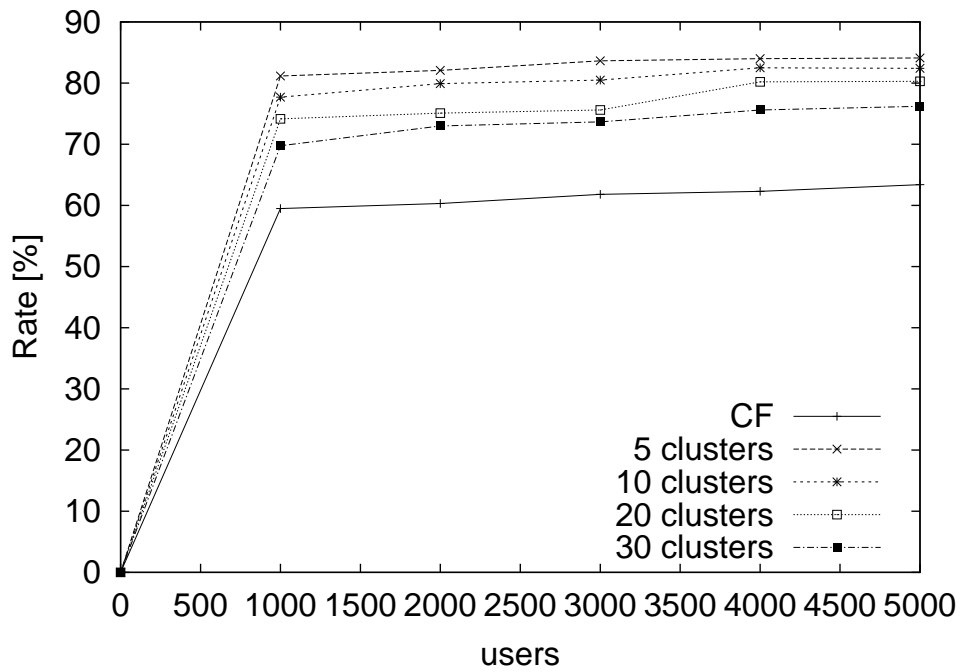


図 6-14: th2 以上の precision (Zipf 分布)

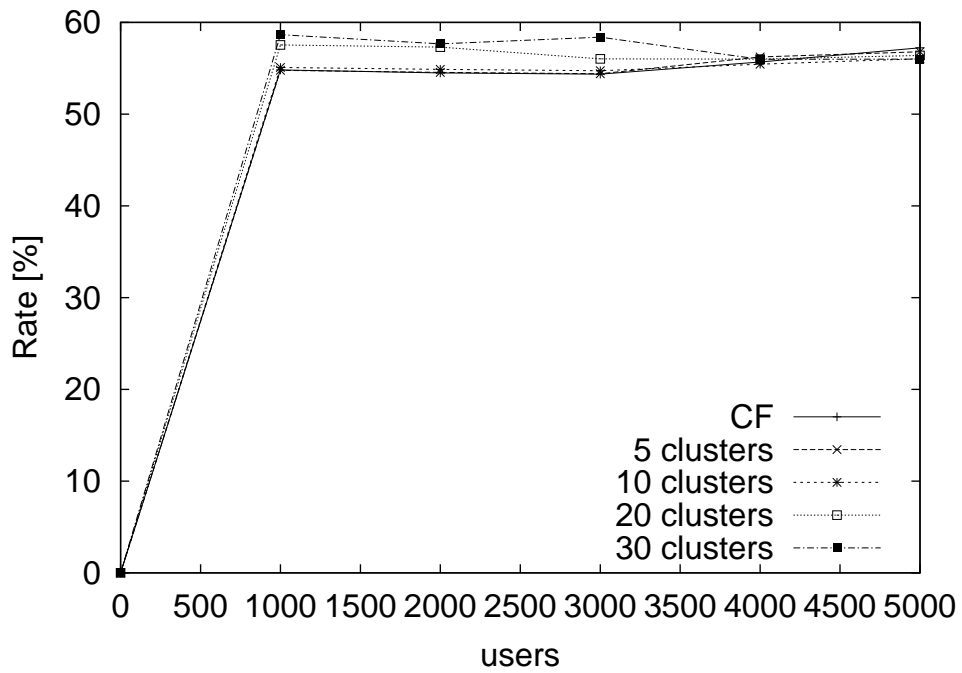


図 6-15: th2 以上の recall (Zipf 分布)

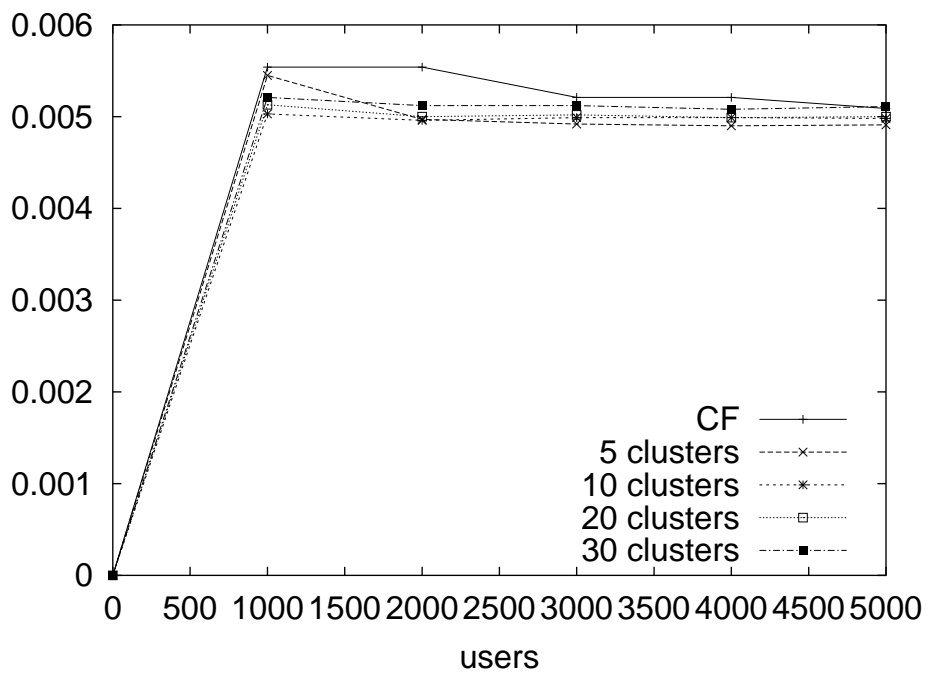


図 6-16: MAE による評価 (Random 分布)

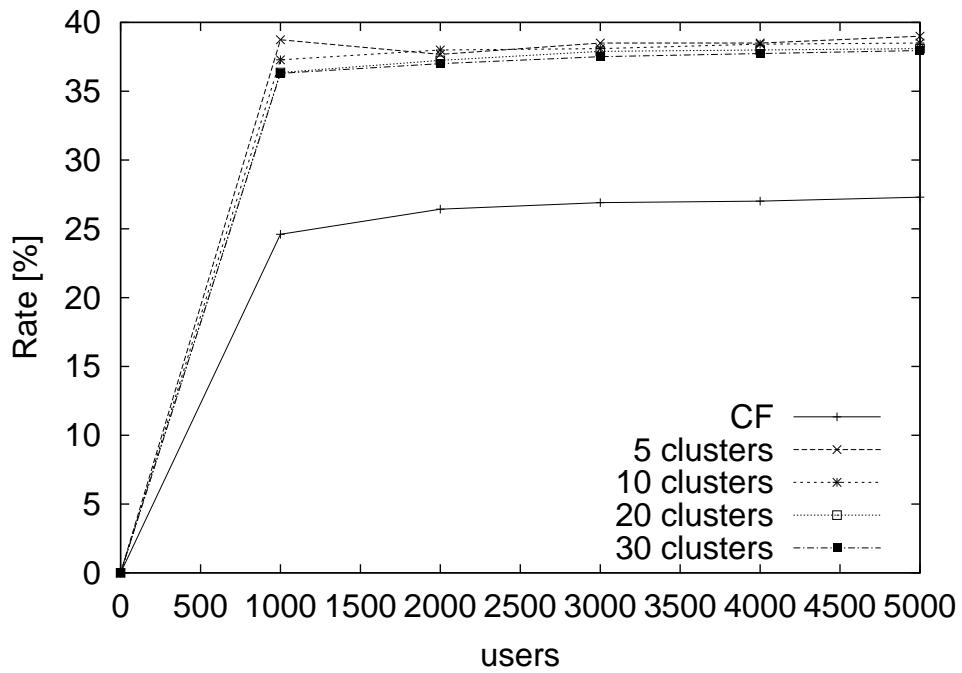


図 6-17: Top-5 の評価 (Random 分布)

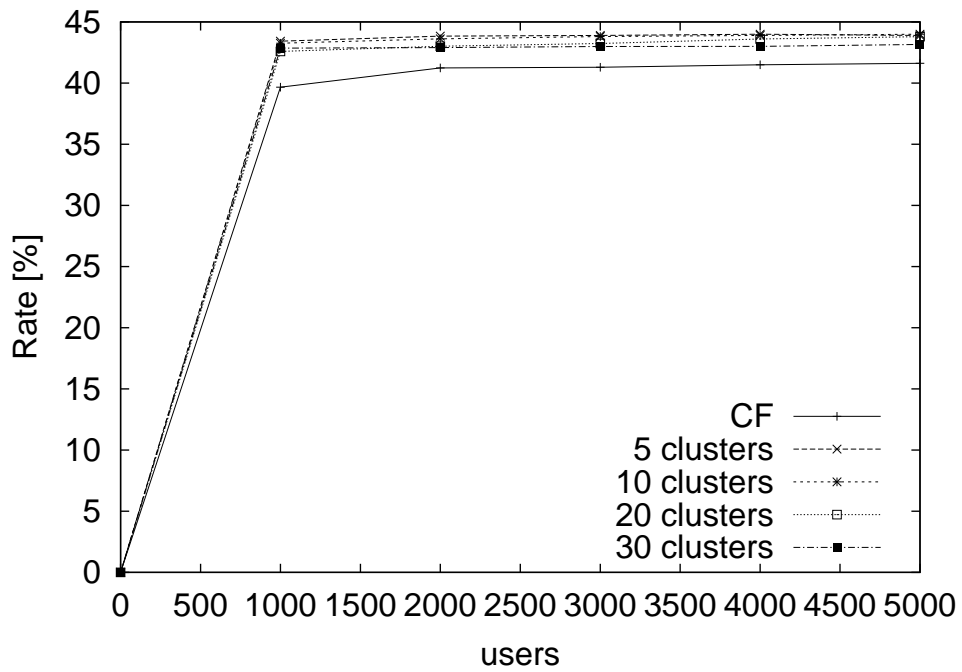


図 6-18: Top-10 の評価 (Random 分布)

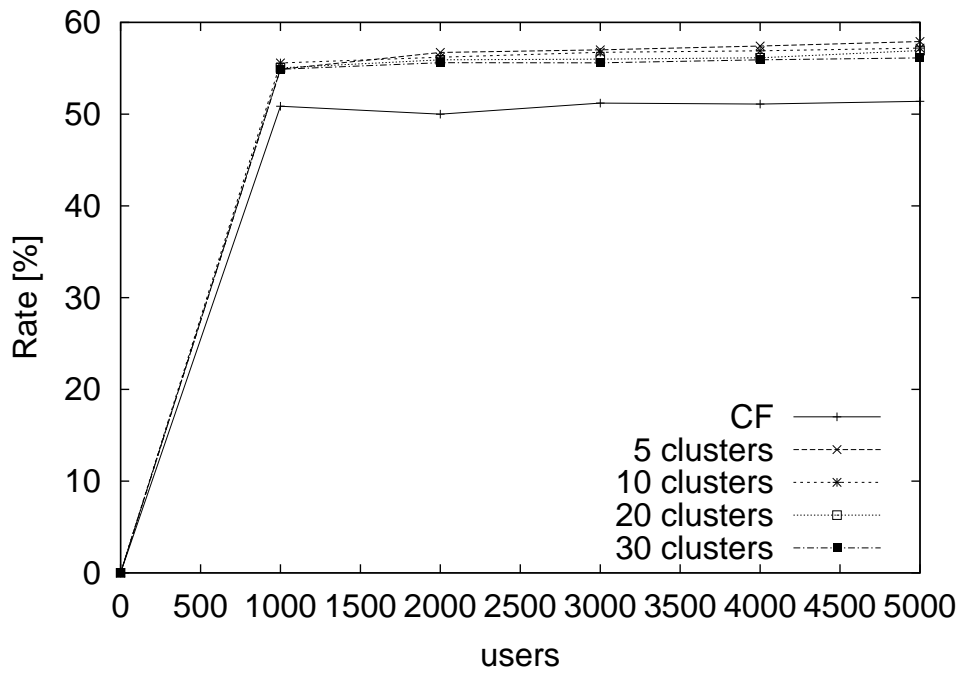


図 6-19: th1 以上の precision(Random 分布)

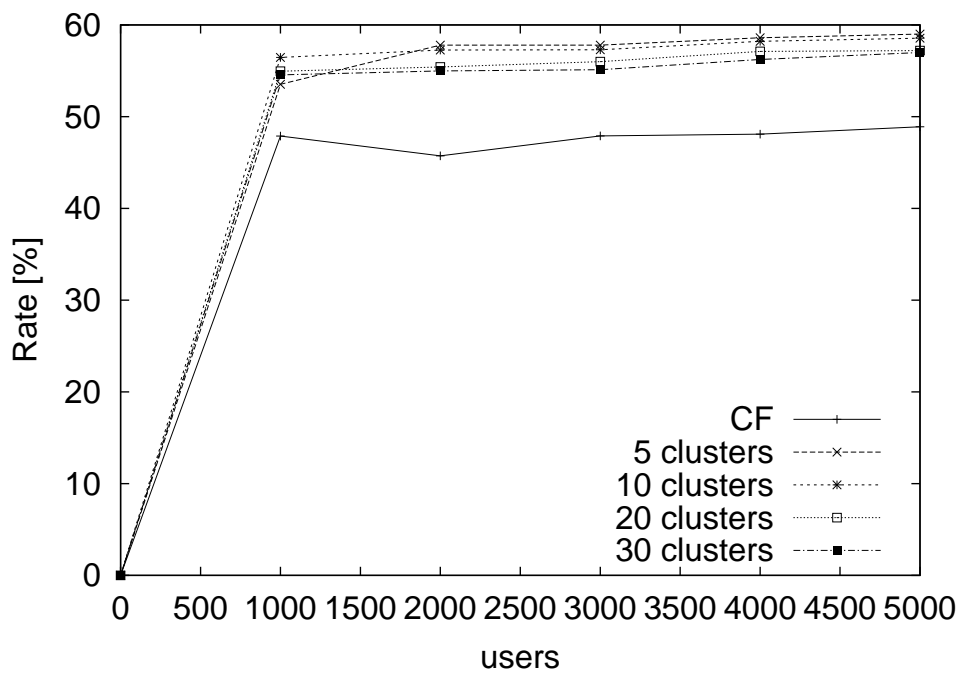


図 6-20: th1 以上の recall(Random 分布)

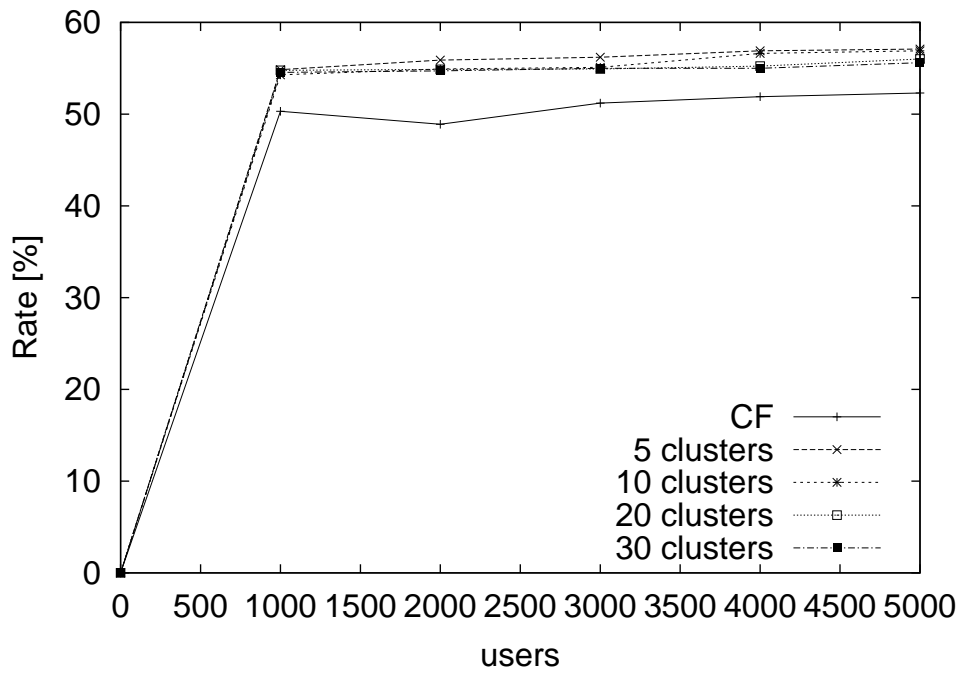


図 6-21: th2 以上の precision(Random 分布)

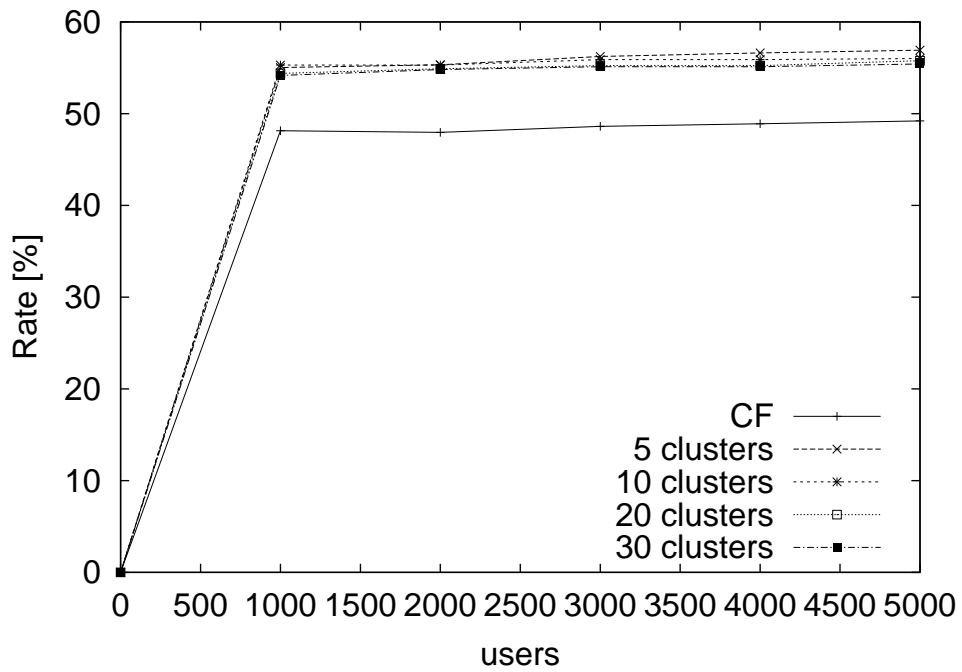


図 6-22: th2 以上の recall(Random 分布)

6.6 ユーザ嗜好変化対応の検証

6.6.1 シミュレーション方法

5章で提案したユーザのクラスタ参入・離脱アルゴリズムを検証するために、ユーザー一人の嗜好を意図的に変化させていった場合の予測精度を 1):従来方式, 2):提案方式(クラスタ固定), 3):2)+提案アルゴリズムの3手法において測定する。予測精度には MAE を用いる。

ここでいう意図的な変化とは、ある特定のジャンルのコンテンツのみにアクセスする事を表す。

本シミュレーションでは、基礎検討のため嗜好を変化させるユーザをひとりのみとし、それ以外のユーザの嗜好には変化はないものとする。

6.7 シミュレーション結果

嗜好の変化による予測精度の推移を図 6-23 に示す。従来方式では MAE はほぼ横ばいとなるが、方式 2) ではクラスタが固定されているために予測精度が回数を重ねる毎に悪化し、従来方式よりも悪くなってしまう。方式 3) ではある程度まで行くとクラスタ移動がおき、再び予測精度が向上していることが確認できる。これにより、本提案方式はユーザの嗜好の変化に対応できる事が検証された。

6.8 考察

以下に、本シミュレーション実験の考察を述べる。

- シミュレーション実験から、協調フィルタリングにおいてユーザクラスタリングを用いる事は、処理時間および推薦精度の面で有効であると確認された。特にユーザの嗜好が強く現れているモデルである、Zipf 分布においては推薦精度の面で良好な結果が得られた。
- 結果の図より、今回のシミュレーションではクラスタ数を変化させても推薦精度にはほぼ変動がなく、かつクラスタ数を増やすほど処理時間の低減が確認できた。ただし、ユーザ数に対してクラスタ数が多すぎるとクラスタ内のメンバ数が減ってしまい、推薦精度が落ちる事が予測される。したがって、ユーザの数に対する最適なクラスタ数をシミュレーションを用いて実験的に求める必要がある。
- 今回はクラスタリングアルゴリズムに分割最適化手法である k-means 法を用いたため、クラスタ数をこちらで設定する必要があったが、最短距離法などの階層的手法を用いればクラスタ数を設定する必要はなくなる。しかしこの場合、クラスタ内メンバの数が多すぎると処理時間が多くなってしまうので、推薦精度を一定に保て、かつ処理時間が高速になるメンバ数を求める必要がある。

- 本論文における，ユーザ嗜好変化のシミュレーションはユーザひとりのみのプロフィールを変化させた場合について行った．しかし，より実環境に近いシミュレーションを行う為には全ユーザのプロファイルを変更させる必要がある．その場合におけるユーザの行動モデルの検討・構築が課題となる
- 上記シミュレーションにおいて，本論文では閾値を実験的に定めた．しかしこの閾値の設定により推薦精度と処理時間が変動してくると考えられる．推薦精度と処理時間はトレードオフの関係になると考えられるため，シミュレーションを繰り返し，最適な閾値決定法を検討する必要がある．

6.9 まとめ

本章では，前章に示した本研究の提案手法である，ユーザクラスタリングを用いた協調フィルタリング手法について，Zipf・Randomの二つの分布を用いて作成したユーザの評価モデルを用いてシミュレーションを行った．

その結果，本提案手法は従来手法に比べ処理時間および推薦精度の両面において優れていることが確認された．

ユーザの嗜好の変化へ対応するための提案アルゴリズムの更なる検討，シミュレーションは今後の課題である．

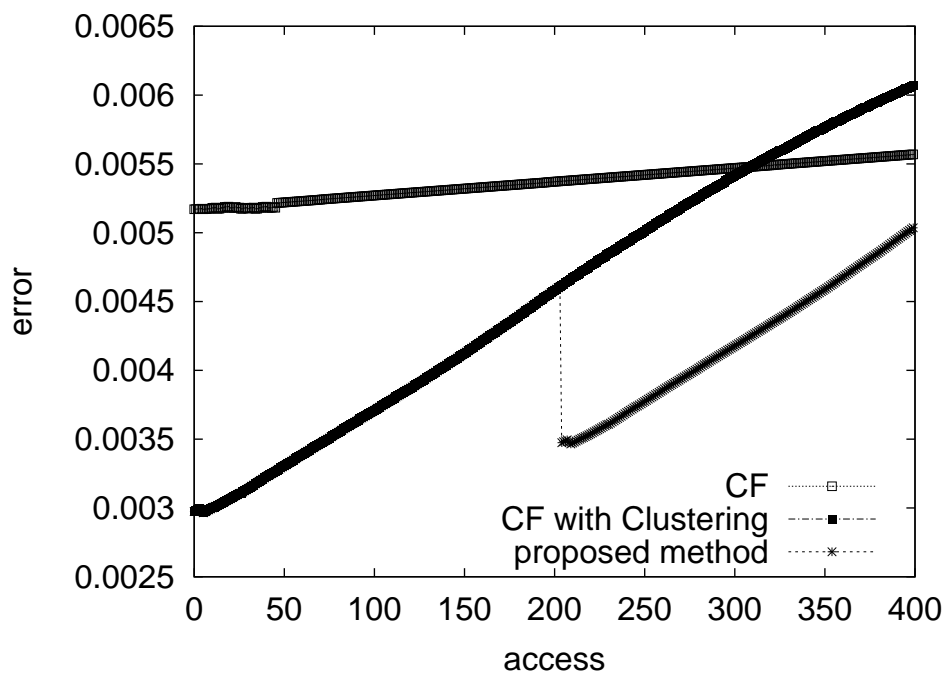


図 6-23: 嗜好の変化による MAE の推移

第7章

結論

7.1 はじめに

本章では本研究を総括し、今後の検討課題を述べる。

7.2 総括

本研究は、モバイル環境における情報推薦システムに関する研究を行った。近年のモバイル端末の普及や、GPS等の位置測位デバイスの搭載、処理機能の公正化から携帯端末に対する情報推薦システムが注目を集めている。

モバイル端末は、表示能力に限界があるため、効率的な情報推薦が不可欠となる。また、モバイルアプリケーションの特性上、処理時間は可能な限り高速化する必要がある。

ユーザに効率よく情報を推薦する、言い換えるとユーザに適した情報を提示する技術をパーソナライゼーション技術という。このうち、ユーザの評価履歴を用いて自動的にユーザにコンテンツを推薦してくれるという特性から、「協調フィルタリング手法」が現在最も普及している。

しかし、この協調フィルタリング手法は、推薦精度、処理時間等様々な問題点が未だ残されている。特に、モバイル環境に協調フィルタリングを適用した場合、処理時間の性能向上は最も重要な課題となる。

そこで本研究では、協調フィルタリング手法の高速化を目的として、ユーザプロフィールをクラスタリングしてユーザを管理する手法を提案した。また、関連の強いユーザをクラスタリングでまとめることにより、推薦精度の向上も期待できる。

本論文では、Zipf・Random分布の二つの分布を用いてユーザの評価モデルを作成し、そのモデルを用いてシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、本提案手法が処理時間及び推薦精度の両面で従来の協調フィルタリング手法よりも性能が向上することが検証された。

本論文の構成を以下に示す。

第1章では本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べた。

第2章ではモバイル環境における情報推薦システムの要求条件及び既存システムに関して記述した。

第3章ではユーザに分かりやすい形で情報を提示することを目的として、モバイルカメラで撮影された写真に対して情報を付加する手法の基礎検討を行った。

第4章ではユーザに適した情報を提示するパーソナライゼーション技術について述べ、その中で最も普及している協調フィルタリング手法の概要、問題点及び既存研究を記述した。

第5章では協調フィルタリング手法の処理時間低減を目的としたユーザクラスタリングを用いた手法を提案し、嗜好の変化に対応するためのユーザのクラスタ離脱・参入、クラスタ再構築のアルゴリズムについて提案・検討を行った。

第6章ではシミュレーションを行って、5章で述べたユーザクラスタリングを用いた提案手法の有効性を検証した。

第7章は結論であり、本論文の総括および今後の課題について述べている。

7.3 今後の課題

今後検討すべき課題を以下に示す。

- ユーザの嗜好の変化に対応するためのクラスタ離脱，参入，クラスタ再構築アルゴリズムのシミュレーションによる実験
- 実データを用いた評価実験
- システムの実装及び性能評価
- 協調フィルタリングを用いた情報推薦システムを前提とした効率的なユーザ及びコンテンツの管理手法の検討

謝辞

本研究を進めるにあたり、日頃から惜しみなく御指導して頂き、貴重な時間を割いて研究の方向性を御指導頂きました渡辺 裕 教授に心から感謝致します。

本研究の機会及び素晴らしい実験環境を与えて下さりった富永 英義 教授に心から感謝致します。

また、研究の方向性をはじめ、研究の細部に至るまで、数々の有意義な御意見、御助言を賜りました亀山 渉 教授に深く感謝致します。

貴重な御意見、様々な御提案を頂いた渡辺研究室 AVS ゼミの皆様にご礼申し上げます。特に夜8時からのゼミ(2次会)においてお世話になりましたM2の田邊君、清水君、中神君、M1加藤君には心より感謝しております。

また、研究の息抜きに付き合ってくれた富永研究室本室の皆さんに、御礼申し上げます。特に、PC環境に関して様々な事を教えてくれた池上君、浜君、石川 Y 君に感謝致します。

研究室において2年間、計6年間の長きにわたりお世話になりましたM2の皆様にご礼申し上げます。また、サッカーの助っ人に来て頂いたD1の土橋さんには深く感謝しております。

最後に、私をここまで育ててくれた両親に感謝致します。

お世話になった全ての方々に感謝を込めて。

平成 16 年 1 月 30 日

金田 瑞規

参考文献

- (1) モバイルコンピューティング推進コンソーシアム, "移動体通信市場におけるモバイルコンピューティング利用者数予測," <http://www.mcpc-jp.org/>, 2002
- (2) 三菱総合研究所, "次世代携帯電話に関する調査結果," <http://research.goo.ne.jp/cgi-bin/goo.cgi?::SID=backNumber&.:VP=0101op19/01.html>, Mar, 2001
- (3) ビデオリサーチ, "携帯電話の携帯電話の所有と利用状況," <http://www.videor.co.jp/data/member/marketing/phone/index.htm>, 2001
- (4) 三浦 信幸, 高畑 実, "位置情報流通方式の動向," NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル, Vol.9, No.4, Jan.2002
- (5) データベース振興センタ, "G-XML," <http://gisclh.dpc.or.jp/gxml/contents/>
- (6) OpenGIS Consortium, "GML," <http://opengis.net/gml/>
- (7) Salil Pradman, Cyril Brignone, Jun-Hong Cui, Alan McReynolds, Mark T.Smith, "Websign:Hyperlinking Physical Locations to the Web," IEEE Computer, August 2001
- (8) 山口 高康, 高畑 実, 本郷 節之, "位置情報を利用した情報ハンドリング技術に関する考察," 信学技報 Momuc2002-17, pp.101-106, 2002
- (9) 根路銘 もえ子, 屋比久 友秀, 松田 善臣, 宮城 隼夫, 翁長 健治, "ユーザ情報に基づく地理空間データの適応フィルタリング," 電子情報通信学会総合大会, A-17-35, 2002年
- (10) 大田 智数, 波多野 賢治, 吉川 正俊, 上村 俊亮, "ウェアラブル環境における行動履歴を用いた情報提示," 信学技報 DE2001-1, pp.1-7, 2001
- (11) 吉沢 進, 亀山 渉, "モバイル環境における行動履歴を利用した情報配信と情報フィルタリング手法," Forum on Information Technology, M-73, 2002
- (12) 茶園 篤, 二瓶 克己, 伊藤 紀子, "モバイル情報配信プラットフォーム TPOCast," 情報処理学会第 62 回全国大会, 3ZA-2, 2001
- (13) 二瓶 克己, 茶園 篤, 伊藤 紀子, "モバイル情報配信プラットフォーム TPOCast -松江観光 GIS 実証実験結果報告 1-, " 情報処理学会第 63 回全国大会, 2R-3, 2001
- (14) 茶園 篤, 二瓶 克己, 伊藤 紀子, "モバイル情報配信プラットフォーム TPOCast -松江観光 GIS 実証実験結果報告 2-, " 情報処理学会第 63 回全国大会, 2R-4, 2001

- (15) 相良 毅, 有川 正俊, "電子メールベース地理情報システム「POST GIS」," 信学技報 DE2001-78, pp.1-6, 2001
- (16) 山田 直治, 李 龍, 高倉 弘喜, 上林 弥彦, "地理的スコープと詳細度による WEB ページ分類とモバイルキャッシュへの応用," 信学技報 DE2002-79, pp.109-114, 2002
- (17) 中西 泰人, 辻 貴孝, 大山 実, 箱崎 勝也, "Context Aware Messaging Service: 位置情報とスケジュール情報を用いたコミュニケーションシステムの構築および運用実験," 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.7, pp.1847-1857, July 2000
- (18) 伊藤 雅仁, 松井 裕子, 近藤 友宏, 重野 寛, 松下 温, "情報の地理的關係に基づくメタデータを用いた放送型情報提供手法," 情報処置学会論文誌, Vol.42, No.7, pp.1866-1894, July 2001
- (19) 片桐 雅仁, 杉村 利明, 櫻井 保志, 池田 武史, "実写ライブ動画映像を用いた移動体ナビゲーションの試み -Mobile MagicView-", 信学技報 PRMU98-169, pp.149-156, 1998
- (20) 藤井 憲作, 杉山 和弘, "携帯端末向け案内地図作成システムの開発," 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9, pp.2394-2403, Sep.2000
- (21) 内藤 頼孝, 山口 浩司, 廣瀬 道孝, 広田 広一, "画像及び地図からの情報の抽出と都市空間の構築," 信学技報 MVE2002-9, pp.45-49, 2002
- (22) 山中 俊介, 加藤 直樹, 藤澤 克樹, "建築画像の消失点検出手法の開発とそれに基づく 3次元建築モデルの再構成手法," 日本建築学会計画系論文集, No.542, pp.269-277, 2001
- (23) 松山 隆司, 和田 俊和, "Hough 変換: 投票と多数決原理に基づく幾何学的対象の検出と識別," コンピュータビジョン技術と将来展望, pp149-165, 1998
- (24) Amazon.com, "http://www.amazon.com"
- (25) Don Papers, 他, "ONE to ONE マーケティング - 顧客リレーションシップ戦略," ダイヤモンド社, 1995
- (26) 新井 範子, 北川 和裕, "ユーザの好きと嫌いを聞き分けるパーソナライゼーション技術," NIKKEI ELECTRONICS 2003/3, pp.127-138, 2003
- (27) Goldberg, D., et al., "Using Collaborative Filtering to Weave an Information Tapestry," Communication of the ACM, vol.32, no.12, pp.61-70, 1992
- (28) Konstan, J., et al., "GroupLens:Applying Collaborative Filtering to Usenet News," Communication of the ACM, vol.40, no.3, 1997

- (29) John S.Breese 他, "Empirical Analysis of Predictive Algorithm for Collaborative Filtering, "14th Conference on Uncertainty Artificial Intelligence, 1998
- (30) Badrul M.Sarwar 他, "Using Filtering Agents to Improve Prediction Quality int the GroupLens Research Collaborative Filtering System, "ACM conference on Computer supported cooperation work, 1998
- (31) 川前 徳章, "ユーザの潜在嗜好モデルに基づいた協調フィルタリング手法-ユーザの評価からユーザの嗜好の抽出-, " 信学技報 DE2003-5, pp.23-28, 2003
- (32) 片山 淳, 宮地 寿人, 木村 司, 山下 博之, "不統一対象属性を利用する協調フィルタリング推薦方式の検討, " 情報科学技術フォーラム 2003, LN-003, 2003
- (33) G.Karypis, "Evaluation of item-based top-n recommendation algorithms, " Proceedings of the Tenth International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM), 2001.
- (34) 吉沢 進, 亀山 渉, "モバイル環境における行動履歴を利用した情報配信システムの実装と評価, "信学総大 B-15-19, 2003
- (35) 神島 敏弘, "データマイニング分野のクラスタリング手法-クラスタリングを使ってみよう!-, " 人工知能学会誌 18 巻 2 号, pp.59-65, 2003
- (36) 坂野 鋭, 山田 敬嗣, "怪奇!!次元の呪い-識別問題, パターン認識, データマイニング 初心者のために-, " 情報処理学会誌 43 巻 2 号, pp.562-567, 2002
- (37) S.Classman, "A Cashing Relay for the World Wide Web, " Proceeding of the First International WWW Conf., 1994
- (38) M.Aida, T.Nakanishi, "Design of Address Cache Table for Data Networking Based on Complementary Use of the Two Types of Zipf's Law, " Proceedings of the 1997 Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Tech., 1997
- (39) "Zipf 曲線とウェブサイトの人気度, " <http://www.usability.gr.jp/alertbox/zipf.html>

図一覧

2-1	モバイル環境における情報推薦・検索システム	6
3-1	モバイルカメラで撮影された写真に対する情報付加	12
3-2	G-XML 文章のデータ構造	13
3-3	ユーザの視線方向決定概念図	15
3-4	実験画像 (渋谷駅周辺 - 1)	17
3-5	実験画像 (渋谷駅周辺 - 2)	17
3-6	実験画像 (渋谷駅周辺 - 3)	18
3-7	実験画像 (渋谷駅周辺 - 4)	18
3-8	実験画像 (渋谷駅周辺 - 5)	19
3-9	実験画像 (渋谷駅周辺 - 6)	19
3-10	実験画像 (渋谷駅周辺 - 7)	21
3-11	実験画像 (秋葉原駅周辺 - 1)	22
3-12	実験画像 (秋葉原駅周辺 - 2)	22
3-13	実験画像 (秋葉原駅周辺 - 3)	23
3-14	実験画像 (秋葉原駅周辺 - 4)	23
3-15	実験画像 (秋葉原駅周辺 - 5)	24
3-16	実験画像 (秋葉原駅周辺 - 6)	24
3-17	結果画像 (渋谷駅周辺 - 1, 直線検出不可)	25
3-18	結果画像 (渋谷駅周辺 - 2, 直線検出不可)	25
3-19	結果画像 (渋谷駅周辺 - 3)	26
3-20	結果画像 (渋谷駅周辺 - 4)	26
3-21	結果画像 (渋谷駅周辺 - 5)	27
3-22	結果画像 (渋谷駅周辺 - 6, 直線検出不可)	27
3-23	結果画像 (秋葉原駅周辺 - 1, 直線検出不可)	28
3-24	結果画像 (秋葉原駅周辺 - 2, 直線検出不可)	28
3-25	結果画像 (秋葉原駅周辺 - 3)	29
3-26	結果画像 (秋葉原駅周辺 - 4)	29
3-27	結果画像 (秋葉原駅周辺 - 5)	30
3-28	結果画像 (秋葉原駅周辺 - 6)	30
3-29	画像と消失点	31
3-30	a-b パラメータ平面を用いた Hough 変換	31

5-1	前提とするデータ構造	39
5-2	従来手法	40
5-3	提案手法(クラスタリング有り)	40
5-4	ユーザのクラスタ参入・離脱の流れ	43
5-5	クラスタの分割・再構築の流れ	44
6-1	MAE 算出の流れ	46
6-2	上位 5 つのコンテンツによる評価の流れ	47
6-3	閾値以上のコンテンツによる評価の流れ	48
6-4	シミュレーションの流れ	49
6-5	zipf 分布(文献 ⁽³⁹⁾ より引用)	51
6-6	zipf 分布と Web サイトの人気度(文献 ⁽³⁹⁾ より引用)	51
6-7	処理時間(Zipf 分布)	53
6-8	処理時間(Random 分布)	53
6-9	MAE による評価(Zipf 分布)	54
6-10	Top-5 の評価(Zipf 分布)	54
6-11	Top-10 の評価(Zipf 分布)	55
6-12	th1 以上の precision(Zipf 分布)	55
6-13	th1 以上の recall(Zipf 分布)	56
6-14	th2 以上の precision(Zipf 分布)	56
6-15	th2 以上の recall(Zipf 分布)	57
6-16	MAE による評価(Random 分布)	57
6-17	Top-5 の評価(Random 分布)	58
6-18	Top-10 の評価(Random 分布)	58
6-19	th1 以上の precision(Random 分布)	59
6-20	th1 以上の recall(Random 分布)	59
6-21	th2 以上の precision(Random 分布)	60
6-22	th2 以上の recall(Random 分布)	60
6-23	嗜好の変化による MAE の推移	63

表一覧

6-1 実験パラメータ	52
-------------------	----

研究業績

	題 名	発表年月	発表掲載誌	連名者
国内				
(1)	モバイルカメラを利用した 地理情報提示方法に関する 基礎検討	2002年11月	IMPS2002, I-2.11	金田 瑞規 吉沢 進 亀山 涉 渡辺 裕
(2)	モバイル環境におけるユー ザの嗜好と位置を利用した 情報推薦システムの検討	2003年9月	FIT2003, M-092	金田 瑞規 亀山 涉 渡辺 裕
(3)	モバイル環境におけるユー ザクラスタリングを用いた 情報推薦システムの検討	2004年3月(予定)	情報処理学会 AVM 研究会	金田 瑞規 渡辺 裕

モバイルカメラを利用した地理情報提示方法に関する基礎検討

A Study on Geographic Information Presentation Method using Mobile Camera

金田 瑞規 吉沢 進 亀山 渉 渡辺 裕
Mizuki KANADA Susumu YOSHIKAWA Wataru KAMEYAMA Hiroshi WATANABE

早稲田大学大学院 国際情報通信研究科
Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

Abstract : Mobile terminal, such as cellular phone and PDA has been proposed to receive geographic information. However, it is often difficult to match the real object to those on map. Thus, we study a method to map geographic information to pictures captured by the camera of mobile terminal.

1. はじめに

近年携帯電話を始めとするモバイル端末が急速に普及している。モバイル端末はその特性から、店舗情報や施設情報といった地理情報を提供するためのクライアント端末として利用価値が高い。また現在位置を特定できるGPSが搭載されている端末の普及から、最近ではモバイル端末向けの地理情報提供サービスが一般的になりつつある。しかし、膨大な地理情報の中から自分の欲しい情報を選び出すのは困難で、またその情報の閲覧方法にも不便さが残っているのが現状である。そのためユーザにとって本当に使いやすいサービスが望まれる。

そこで本稿では利便性の高いシステムを構築することを想定し、より分かりやすい情報提供を行うために、モバイル端末で撮影された写真を利用して地理情報を提供するための手法について基礎検討を行う。

2. 想定システム

本研究で想定している最終的なシステム概念図を図1に示す。

本想定システムは大きく分けると、数多くある地理情報の中からユーザにとって「有意義な」情報を抽出するフィルタリング部分と、ユーザに「分かりやすい」形で情報を提供する表示部分に分かれる。

2.1 地理情報のフィルタリング

ユーザに「有意義な」情報を提示するシステムを実現するためには、地理情報のフィルタリングを行う必要がある。吉沢らは「有意義な」情報を提示するためにユーザの嗜好情報やGPSから得られるユーザの行動履歴を用いた情報のフィルタリング手法について提案した[1]。この手法をさらに検討し、システムに実装していく。

2.2 地理情報表示

ユーザに「分かりやすく」情報を提示するためには、従来の地理情報提供システムのような2D地図を基に情報を提供するのではなく、ユーザの視点を基に情報を提供する必要がある。すなわちユーザのしている風景、ユーザから何が見えているかという情報を基に地理情報を提供する事が有効と考えられる。

将来的にモバイル端末は高詳細な3D地図が搭載され、その地図を自由に動かせるような性能を持つと予測される。その中でGPSや電子コンパスといったデバイスから得られる情報を基に、最新の地理情報をダウンロードして3D地図に付加するようなシステムが実現すると思われるが、現段階としてはまだ現実的ではない。

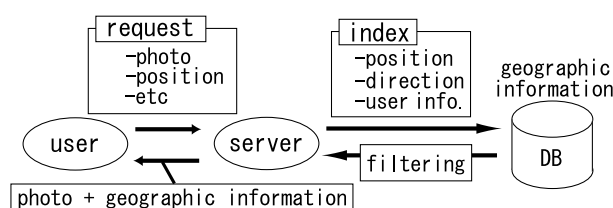


図1 システムの概念図

そこで本稿では、

- 理想システムの前段階のアプリケーション
- 重い処理を行わなくても実行可能なアプリケーション

として、モバイルカメラで撮影された写真をユーザのしている景色と仮定しその写真に対して地理情報を付加する仕組みを提案し、その基礎検討を行う。

3. 写真に対する地理情報付加に必要な情報

写真に対して地理情報を付加する際に必要となる情報は大きく分けて以下の2種類である。

地理情報	ユーザ情報
・緯度	・位置
・経度	・方向(方位)
・高さ	・見上げている角度(仰角)

これらの情報を基に、「写真に何が写っているか」＝「ユーザは何を見ているか」を判断し写真に地理情報のマッピングを行う。

以下上記の情報をどのように取得するか及び管理手法を検討する。

3.1 地理情報の記述方法

地理情報記述には、標準的な記述言語を用いる事が望ましい。わが国ではすでにG-XML¹[2]という地理情報記述言語が標準化されている。しかしG-XMLでは緯度・経度は記述できるが、高さは記述できない。従ってG-XMLを独自拡張するか、G-XMLの次期バージョンであるG-XML3.0と統合される予定のGML3.0[3]を用いる必要がある。

3.2 ユーザ情報の取得方法

先に述べた3つのユーザの現在位置に関する情報を得る手段を以下検討する。

- ユーザの現在位置

ユーザの現在位置に関してはGPSが搭載されたモバイル端末が普及していることもあり、このデバイスから得られる情報を利用できると考えられる。ただしその精度は完全ではなく、数メートル～の誤差が生じてしまうため、写真を用いて誤差を修正する方法を検討しなくてはならない。

- ユーザの水平方向の向き(方位角)

GPSと同様にユーザがどの方向を向いているかを検出するデバイスとして電子コンパスというものがある。しかしGPSに比べて標準的でなく今後の展開も不明である。したがって電子コンパスが搭載されていればその情報を用いればよいが、そうでない場合は後述するように写真から方位を算出する必要がある。

- ユーザの垂直方向の向き(仰角)

仰角についてはこれを得るデバイスが存在しない。従って方位角と同様に写真から推定する必要がある。ただしこの情報に関しては仰角が多少変わっても見える物はあまり

¹2002年10月現在 version2.0 が標準化されている

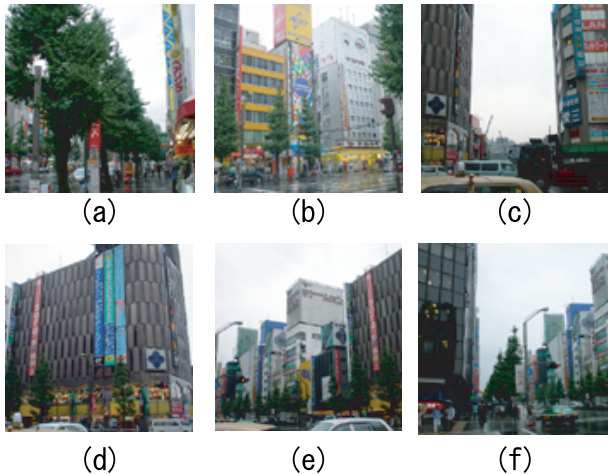


図 2 実験画像

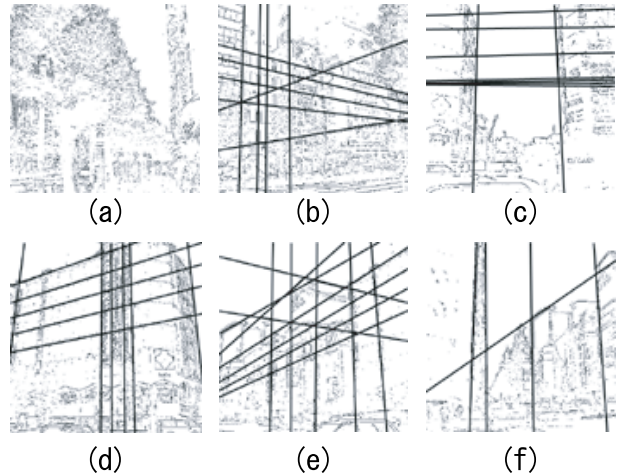


図 3 結果画像

変わらないといえるので、ある程度の幅を持たせた推定値を用いることができると考えられる。

4. 写真からの位置情報抽出

写真から得られる特徴量としては、色情報、直線等が考えられる。建設物等の色情報をデータとして持っていれば、写真の色情報を用いて建設物の判定ができると思われる。しかし実際には看板などは頻繁に変化し、その影響が大きく現れるため現実的ではない。したがって写真から得られる直線およびその直線群が構成する消失点を用いて方向を求めることになる。

写真は 3 次元物体を 2 次元平面に投影したものとみなせ、3 次元空間中で平行な直線群は 2 次元投影面で共通な消失点を持つという性質がある。また、地理情報を知りたいユーザが撮影する写真は建物を中心になると考えられる。多くの建物は単純な平面要素から構成されるため、写真の持つ画像情報を用いて消失点を検出すれば位置・姿勢情報を求めることができる。

文献 [4] では、画像平面上の垂直方向の消失点座標 1 点と水平方向の消失点座標 1 点を得ることで視線と画像平面までの焦点距離を得ている。さらにそれらを基に共通の消失点に収束する直線群と視線方向のなす角を求めている。水平方向の消失点を構成する直線方向とは道路方向であることが多い。これにより直線群と視線方向のなす角及び現在位置がわかり、2D 地図情報があればユーザがどの方向を向いて撮影したかを求められる。

5. 基礎実験

文献 [4] は建設物を撮影対象とした写真を用いているため、実際の街並でどの程度消失点を構成する直線が検出できるのか未知である。そこで本稿では基礎実験として、ある地点から周囲を複数枚撮影し、それらの画像にエッジ検出をし、Hough 変換を行って消失点に収束する直線の検出を行う。

5.1 実験条件

図 2 に示す 6 枚の画像に対し、以下の条件でエッジ検出・Hough 変換を行い直線及び消失点検出を行う。

- エッジ検出に用いるフィルタは 4 近傍ラプラシアンフィルタを用いる
- Hough 変換には多数決法を使用する
- 余分な直線検出を減らすために検出する直線の傾きに制限を設ける
- 人間や自動車等の影響を減らすために画像の上から 2/3 を用いる

なお、今回は直線検出や消失点検出に用いる閾値は最もよいと思われる値を手動で定めている。

5.2 実験結果

図 2 の画像に対して直線検出をした結果を図 3 に示す。(d) のように建物そのものを撮影した場合には垂直、水平方向ともに消失点を得られ、(b)、(e) といったビル群を撮影した場合には消失点を得ることができた。しかし、(a) のように街路樹が画像の大部分を占める場合には全く検出することができなかった。また電線や街灯の直線も検出されているが、消失点検出には基本的に多数決判定を行うため、今回の画像では影響が無かった。

5.3 考察

- ビルやビル群を撮影した場合には比較的容易に消失点を得られると思われるが、図 3 の (a) のように街路樹等がある場合には非常に困難になる。しかし、人間の目では (a) の街路樹においても消失点を求めることが可能であり、アルゴリズム次第ではこういった画像でも検出できる可能性はあると思われる。

- Hough 変換は処理時間が長くなりやすい。これを解消するために量子化ステップを粗くすると直線の傾きの精度が悪くなり、消失点座標の誤差が大きくなってしまいうという問題点がある

- 今回の撮影は昼間、晴天時に行ったが様々な条件で実験を行う必要がある。

6. まとめ

本稿では「分かりやすく」地理情報を提示するための手段としてモバイル端末で撮影された写真に対して地理情報を付加する事を提案し、その手法について基礎検討を行った。今後はこれらの検討を基により実践的な手法について検討をおこなっていく予定である。

参考文献

- 吉沢 進, 亀山 渉, "モバイル環境における利用者情報の自動収集と連動した地理情報システムに関する検討," 信学総大 D-4-3(2000)
- G-XML : <http://gisclh01.dpc.or.jp/gxml/contents>
- GML : <http://opengis.net/gml/>
- 内藤 頼孝, 山口 浩司, 廣瀬 道孝, 広田 光一, "画像及び地図からの情報の抽出と都市空間の構築," 信学技報, MVE2002-9, pp.45-49(2002)

モバイル環境におけるユーザの嗜好と位置を利用した情報推薦システムの検討

A Study on Recommender System using User Preference and Location for Mobile Application

金田 瑞規† 亀山 渉† 渡辺 裕†
Mizuki KANADA Wataru KAMEYAMA Hiroshi WATANABE

1. はじめに

近年高機能なモバイル端末が普及し、モバイル端末からインターネットに接続して情報を得る環境が整備されている。また、GPS等の位置測定デバイスを搭載した端末が登場し、位置情報を用いたモバイル端末向けの情報配信サービスが展開されている。

一般に、モバイル端末はPC等と比較するとディスプレイ能力が劣っている。そのため限られた画面により効果的なコンテンツを表示する技術が必要となる。また、コンテンツ数が増加するにつれて通常の検索システムではユーザが有用な情報にたどり着くのが困難となりつつある。

このような背景から、ユーザにより効果的な情報を提示するために、適応型の情報推薦システムが注目されている。

従来の適応型情報推薦システムには、ユーザの利用履歴等を用いた協調的手法が用いられている。しかし、それらの手法には計算コストやシステムのスケーラビリティ等の問題点が存在する。

そこで本稿では、地理情報に付加されているメタ情報を用いてユーザのクラスタリングを行うことで上記の問題点を解決するシステムの提案を行い、その基礎実験を行う。

2. パーソナライズ技術

ユーザの状況や環境に応じて提供するコンテンツを選択する技術を一般的に「パーソナライズ技術」と呼ぶ。このパーソナライズ技術には大きく分けて「静的マッチング方式」、「ルールベース方式」、「協調フィルタリング方式」の3種類が存在する [1]。

最初の二つは人手を介するシステムである為、現在は自動的にコンテンツを推薦してくれる協調フィルタリング方式が多く用いられている。

この協調フィルタリング方式はユーザの利用履歴を用いて自動的にコンテンツを推薦する方式である。この協調フィルタリング方式は今日、非常に多くのWebサイトで用いられている。以下、この協調フィルタリング方式の概要と問題点を簡単に述べる。

2.1 協調フィルタリング方式

協調フィルタリング方式は、「似ている人の考えは、また似ているに違いない」という経験則に基づいた手法である。具体的には、個々のユーザのアクセス履歴等を分析し、そのユーザと似た因子を持つユーザを探し出し、そのユーザの持つ利用履歴に基づいてコンテンツの推薦基準を定める手法である。

協調フィルタリング方式は、基本的に以下の数式で表現されるユーザ a に対するコンテンツ j の推薦値に基づいて情報推薦を行う [2]。

$$P_{a,j} = \bar{v}_a + \kappa \sum_{i=1}^n w(a,i)(v_{i,j} - \bar{v}_i) \quad (1)$$

このうち、 n はユーザ数、 κ は正規化用の変数、 $w(a,i)$ はユーザ a とユーザ i の関係を表す重み値、 $v_{i,j}$ はユーザ i のコンテンツ j に対する評価値 (ページの閲覧回数等) である。重み値 $w(a,i)$ は利用履歴が近いほど大きな値を取り、逆に利用履歴が異なるほど小さな値を取る。

2.2 協調フィルタリング方式の問題点

協調フィルタリング方式には下記に示す問題点が報告されている [3]。

• システムのスケーラビリティ

協調フィルタリング方式は基本的にユーザのコンテンツに対する評価を基に推薦しているため、新規に加わったコンテンツの様に誰も評価していない、あるいはほんの少ししか評価していないといったコンテンツを推薦できないという問題点が存在する。

• 処理コスト

コンテンツの推薦順位を決定するために、(1) 式を全ユーザ、全コンテンツに対して処理する。そのため、ユーザ数やコンテンツが増加すると処理時間が膨大になってしまうという問題点がある。

これらの問題点は、システム応答の高速性や情報の新規性が強く求められるモバイル環境においては深刻な問題点である。

スケーラビリティに関しては、ロボットがコンテンツを自動採点するシステムが研究されている [4]。しかしこの手法は、あくまで文法等の客観的な評価しかできないため、良好な結果は得られていない。

そこで本稿では、上記の問題点の改善を目的としてモバイル環境に適応したシステムを提案し、その基礎実験と検討を行う。

3. 提案システム

モバイル環境での情報推薦や情報検索のアプリケーションは、特に応答時間 (ユーザが要求を出してからシステムがユーザの端末に情報を提示する時間) が重要である。

したがって、システムとしては以下の3点を考慮する必要がある。

- 効率的なデータ管理
- 効率的なユーザ管理
- 効率的な推薦・検索方式

本研究ではこのうち、効率的なユーザ管理と推薦・検索方式の2点に着目してシステムの検討を行う。

3.1 ユーザクラスタリングを用いた方式

本研究では、「ユーザ1人毎に傾向を把握してコンテンツを推薦するよりも、グループ単位で行うほうが処理コストを軽減させることができるだろう」という仮定に基づき、ユーザを利用履歴を用いてクラスタリングして管理し、クラスタ単位で処理を行うという手法を提案する。提案システムの概念図を図1に示す。

ユーザクラスタリングは、利用履歴を特徴量として特徴空間にマッピングし、その距離に基づいてクラスタリングを行う。すなわち、特徴空間上での距離が近いユーザは利用履歴が似ている事を表し、利用履歴が似ている集団でクラスタを構成することになる。ユーザクラスタリングの概

† 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科
Graduate School of Global Information and
Telecommunication Studies, Waseda University

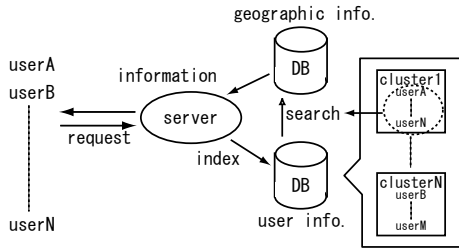


図 1 提案システム

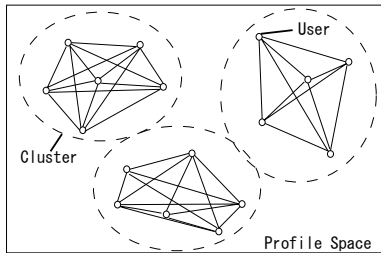


図 2 処理の概念図

念図を図 2 に示す。

コンテンツに対する利用履歴を特徴量として用いると次元数が多く、クラスタリングにかかる演算量が膨大になってしまう。そのため、本研究ではクラスタリングに用いる特徴量として、コンテンツに付加されているメタ情報(「ジャンル」等)を用いる方式を提案する。

クラスタ単位での処理手順は以下の通りである。

1. ユーザの利用履歴を基にクラスタリングを行う
2. 作成されたクラスタ毎にユーザデータを管理する
3. ユーザからの要求があった場合は、クラスタの内部で協調フィルタリングを行う

以上の事を踏まえて、次章で基礎実験を行う。

4. 基礎実験

実際にクラスタリングによってどの程度処理時間が減少するのかを調べるために基礎実験を行う。クラスタリング手法には、現在最も一般的と言われている k-means 法を用い、クラスタ数を変化させてシステムの処理時間を測定する。

4.1 実験条件

実験に用いたパラメータを表 1 に示す。

また、実験に用いた PC のスペックは、CPU : 1GHz, RAM : 512M, OS: Windows2000 である。

これらの条件で、ユーザが一人一回システムを利用した場合の処理時間を比較する。なお、今回はクラスタリングにかかる演算量は考慮しない。

また、ユーザの利用履歴や条件の中で重要だと思われる、時系列データと場所のデータは本実験では用いない。

4.2 実験結果

実験結果を図 3 に示す。

結果より、通常の協調フィルタリング手法に対してクラスタリングを適用することによって、大幅に演算コストが減少することが確認できた。

4.3 考察

ユーザ数を n とすると、 n 人が協調フィルタリングを用いた場合の総処理時間は $O(n^2)$ となる。したがってユーザ数が増えるほど処理時間がかかってしまう。一方提案システムの場合は前処理としてクラスタリングを施してユー

表 1 実験パラメータ

ユーザ数	100,500,1000,2000,3000,4000,5000
コンテンツ数	50
ジャンル数	10
クラスタ数	5,10,20,30,40,50

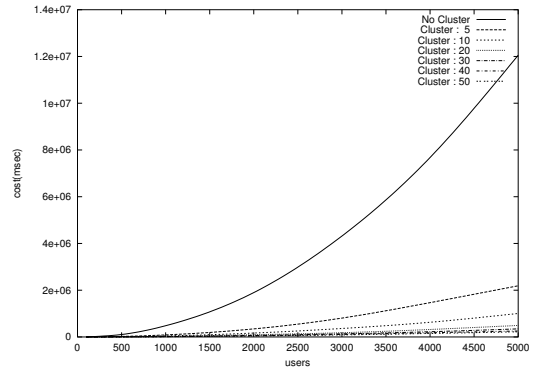


図 3 処理時間の比較

ザ数を減らしているため、従来手法に比べ処理時間を大幅に減少させる事ができる。

ここで問題となるのがクラスタ再構築のタイミングである。ユーザの嗜好の変化をより反映するためには、頻繁にクラスタを再構築する必要がある。しかし、クラスタリング処理自体にも多くの処理時間がかかってしまうために、頻繁なクラスタ再構築は処理時間の増加を招いてしまう。したがって、的確なクラスタ再構築のタイミングと効率的な再構築の手法を検討する必要がある。

また、推薦精度にも注意する必要がある。いかに処理性能が向上しても、推薦精度が落ちてしまえば、システムとしての性能は向上したとは言えない。したがって、より推薦精度の劣化が少ないクラスタリング手法と、推薦手法を検討する必要がある。

5. まとめ

本稿では、適応型情報推薦システムに現在用いられている協調フィルタリング方式の概要と問題点を述べた。また、その問題点を改善し、モバイル環境に適したシステムの検討と基礎実験を行い、それを報告した。

検討課題としては以下の点が挙げられる。

- 提案手法における検索精度の調査実験
- 有効なユーザクラスタリング方法の検討
- クラスタ再構成のタイミングの検討
- 場所の人気度 [5] や時間の利用

今後は上記を考慮したシステム設計を行う予定である。

参考文献

- [1] 新井 範子, 北川 和裕, "ユーザの好きと嫌いを聞き分けるパーソナライゼーション技術," 日経エレクトロニクス, pp.127-138, 2003
- [2] John S.Breese 他, "Empirical Analysis of Predictive Algorithm for Collaborative Filtering," 14th Conference on Uncertainty Artificial Intelligence, 1998
- [3] Bamshad Mobasher 他, "Discovery of Aggregate Usage Profiles for Web Personalization," Web KDD Workshop, 2000
- [4] Badrul M.Sarwar 他, "Using Filtering Agents to Improve Prediction Quality in the GroupLens Research Collaborative Filtering System," ACM conference on Computer supported co-operation work, 1998
- [5] 吉沢 進, 亀山 渉, "モバイル環境における行動履歴を利用した情報配信システムの実装と評価," 信学総大 B-15-19, 2003

モバイル環境におけるユーザクラスタリングを用いた 情報推薦システムの検討

金田 瑞規[†] 渡辺 裕[†]

[†] 早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科
〒 169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

E-mail: †mizuki@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし 近年のモバイル端末の普及や、GPS 等の位置測位デバイス搭載機種が登場や処理機能の高性能化からモバイル端末に対する情報推薦システムが注目を集めている。しかし、モバイル端末は表示能力に限界があるため、効率的な情報推薦が不可欠となる。ユーザに対して効率的に情報を推薦する技術として、ユーザの評価履歴を用いて自動的にコンテンツを推薦する「協調フィルタリング方式」が現在最も一般的である。しかし、この協調フィルタリング方式には処理時間等いくつかの問題点が報告されている。特に、モバイル環境におけるシステムでは処理時間が非常に重要な問題となる為、処理時間の性能向上手法が必要になる。そこで本稿では、モバイル環境において効率的な情報推薦を行うシステム構築を目的として、ユーザクラスタリングを用いた協調フィルタリング方式を高速化する手法を提案した。シミュレーションを用いて処理速度、予測精度の検証を行った結果、提案方式の有効性が確認できた。

キーワード 情報推薦システム, モバイルアプリケーション, 協調フィルタリング, クラスタリング

A Study on Recommender System using User Profile Clustering for Mobile Application

Mizuki KANADA[†] and Hiroshi WATANABE[†]

[†] Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University
Nishiwaseda 1-3-10, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

E-mail: †mizuki@tom.comm.waseda.ac.jp

Abstract A recommender system for mobile terminal has been paid attention because of wide spread of mobile terminal. Current cellular phones, PDA, and new models equipped with GPS provide high processing capability. However, some suitable recommendation method is needed because of limitation of display size. Collaborative filtering using user profile is the most successful technology for personalized information filtering as an effective recommendation method. However, several problems, such as processing speed, are reported for this approach. In mobile application, this is an important issue. Thus, we propose a method to speed up collaborative filtering using user profile clustering to establish recommender system for mobile application. Through the simulation, we can confirm the validity of our proposed method in processing speed and prediction accuracy.

Key words Recommender system, Mobile application, Collaborative filtering, Clustering

1. はじめに

近年のモバイル端末の普及や、GPS等の位置測位デバイスの搭載機種が登場、処理機能の高性能化からモバイル端末に対する情報推薦システムが注目を集めている。昨今の調査では、次世代携帯電話で魅力を感じるサービスの筆頭として、ロケーションサービス等の情報推薦システムがあげられている [1] [2]。一般的に、モバイル端末はその携帯性という特徴から、表示能力には限界がある。したがって、モバイル環境において情報推薦システムを構築するためには効率的な情報推薦が不可欠となる。

効率的な情報推薦技術として、各ユーザに適した情報を提示する「パーソナライゼーション技術」というものがある。これには、静的マッチング方式やルールベース方式等様々な手法があるが、現在最も普及しているものに、「協調フィルタリング方式」という手法が存在する。この協調フィルタリング方式は、ユーザの利用履歴から求める相関を利用して情報推薦を行う手法である。しかしながら、協調フィルタリング方式には予測精度や処理時間といった様々な問題点が報告されている [3]。特にモバイル環境においては処理時間は非常に重要な問題となる為、予測精度処理速度を向上させる手法が必要になる。

そこで本稿では、予測精度を落とさずに協調フィルタリング方式を高速化させる手法として、ユーザクラスタリングを利用した手法についての検討と方式提案およびシミュレーションによる評価結果を報告する。

2. 協調フィルタリング方式

2.1 協調フィルタリング方式とは

パーソナライゼーション技術として、協調フィルタリング方式の他に 1) 静的マッチング方式や 2) ルールベース方式というものがある。これらはユーザ自身に嗜好等の属性情報を登録してもらったり、推薦対象へ手動で属性付加を行い、その情報に基づいて情報を推薦する手法である。しかし、これらの手法には推薦対象への属性付加に対するコストや、ユーザ情報入力をユーザ自身に強制するコストやプライバシーといった問題点が存在する。

協調フィルタリング方式は、ユーザの利用履歴から自動的にコンテンツを推薦する手法であるために、これらの問題点は存在しない。そのため、協調フィルタリングは現在最も普及しているパーソナライゼー

ションエンジンである。これは WWW サイトなどのユーザの集団的な挙動がルールになる仕組みを採用している。具体的には、個々のユーザのアクセス履歴や商品に対する評価などのデータを分析することによりそのユーザと似た因子を持つユーザ集団を探し出し、その集団の挙動を基に対象となっているユーザの嗜好を推測したり、情報を提供したりする。

2.2 協調フィルタリング方式のアルゴリズム

協調フィルタリング方式における、ユーザ a のコンテンツ j に対する推薦基準となる値は、式 (1) の様になる [4]。

$$P_{a,j} = \bar{v}_a + \kappa \sum_{i=1}^n w(a,i)(v_{i,j} - \bar{v}_i) \quad (1)$$

$$w(a,i) = \frac{\sum_j (v_{a,j} - \bar{v}_a)(v_{i,j} - \bar{v}_i)}{\sqrt{\sum_j (v_{a,j} - \bar{v}_a)^2 \sum_j (v_{i,j} - \bar{v}_i)^2}} \quad (2)$$

ここで、 \bar{v}_a はユーザ a の全コンテンツに対する評価の平均値、 $w(a,i)$ はユーザ a とユーザ i との相関を表す重み値で、式 (2) であらわされる。 $v_{i,j}$ はユーザ i のコンテンツ j に対する評価値、 κ は正規化するための係数、 n はユーザ数を示す。

ユーザ相関の重み値 $w(a,i)$ は、ユーザの行動履歴や評価履歴を用いて計算され、履歴が似ているユーザの評価値がより重視される仕組みになっている。

式 (1) で与えられる推薦値を基にシステムは推薦を行う。

2.3 問題点

協調フィルタリング方式には、以下のような問題点が存在することが報告されている [3]。

- 誰からのアクセス履歴や評価履歴もないコンテンツは推薦できない
- ユーザの評価データの少ないシステム利用開始時期は正確な推薦ができない
- ユーザ数、コンテンツ数が増加するにしたがって処理時間も増加してしまう。

2.4 モバイル環境への適用

現在の協調フィルタリング方式を用いた情報推薦システムに用いているユーザの評価履歴は、コンテンツに対するアクセス数やユーザ自身がコンテンツを評価した値を用いている。モバイル環境に協調フィルタリングを適用するとこれらに加え、ユーザ移動履歴や場所の情報等も重要な情報として利用できると思われる。これにより、より柔軟な情報推薦が可能になると予測される。

しかしながら、モバイル環境における情報推薦シ

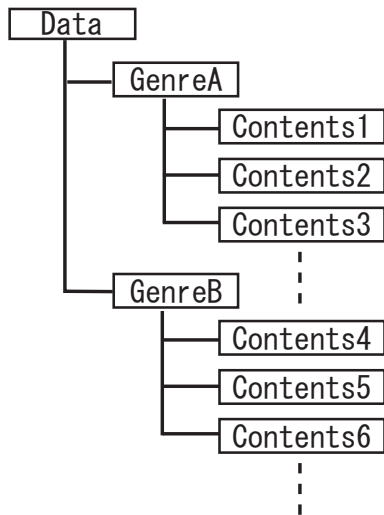


図 1 前提とするデータ構造

システムでは、システムの処理時間が非常に重要な要素となるために、先に示した問題点の処理時間に関する性能を向上させる手法が不可欠となる。そこで本稿では、予測精度を落とさずに協調フィルタリング方式を高速化する手法として、ユーザクラスタリングを用いた協調フィルタリング方式を提案する。

3. 提案方式

3.1 前提条件

本提案方式で推薦するコンテンツは前提として、コンテンツ自身のデータの上位データとして”ジャンル”等のデータを持ち、図1の様な階層的なデータ構造を持つものとする。

現状の情報推薦・検索システムにおいても図1のような構造を持っている事が多いため、この前提条件は現実的であると言える。

3.2 クラスタリングを用いた協調フィルタリング

協調フィルタリングにおいて最も処理時間がかかるのは、ユーザ-ユーザ間の相関係数を求める部分である。一方、協調フィルタリングにおいては相関の小さいユーザの評価値は結果にほとんど反映されないという特徴を持つ。したがって、あらかじめ相関の強いと思われるユーザ群をクラスタリングし、相関係数を求めるのはそのユーザ群に対してのみ行えばよく、結果的にシステムにおける処理時間が少なくなると考えられる。

相関の強いユーザをクラスタリングするために用いる特徴量としてはコンテンツの評価履歴が考えられる。しかし、一般的にこのコンテンツ評価履歴には多くの欠損値(ユーザが未評価)を含んでしまう。また、コンテンツの数だけ次元数があるために、ク

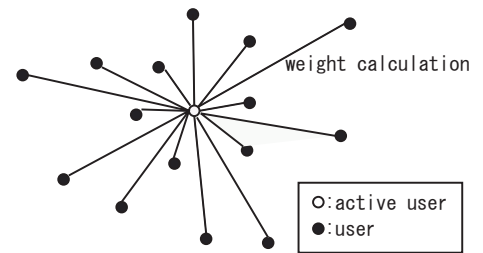


図 2 従来手法

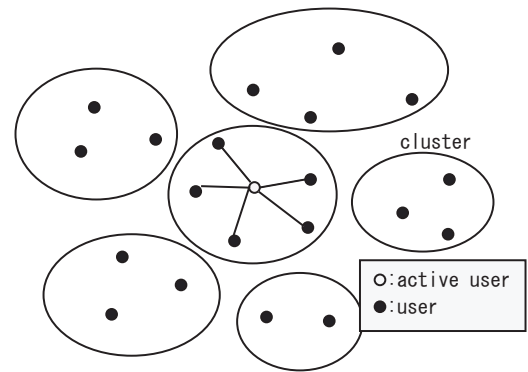


図 3 提案手法 (クラスタリング有り)

ラスタリングの処理が複雑になってしまう。そのため、ユーザをクラスタリングするにはこのコンテンツ評価履歴は不向きであると考えられる。そこで本研究では、「コンテンツの評価履歴が似ているユーザは、また上位データ(ジャンル等)に対する評価履歴も似ているに違いない」という仮定のもとで、

- (1) 上位データの評価履歴を用いてクラスタリングを行う
- (2) そのクラスタ内メンバーでのみ協調フィルタリングを行う

という手法を提案する。上位データの評価履歴はコンテンツ評価履歴に比べ欠損値も次元数も少ないためクラスタリングに用いる特徴量として適していると考えられる。

これにより、協調フィルタリングを行うユーザ数が減少する為処理時間が少なくなると考えられる。また、相関の強いユーザをクラスタリングでまとめることにより予測精度の向上も期待できる。図2, 3に従来手法と提案手法の違いを示す。

3.3 嗜好の変化への対応

本提案手法におけるクラスタリングには、ユーザの評価履歴を用いてクラスタリングを行っている。すなわち、同クラスタ内にいるメンバーは似たような嗜好の持ち主であるという事が言える。

したがって、クラスタを固定したままでは、ユーザの嗜好に変化が生じユーザプロファイルが大きく

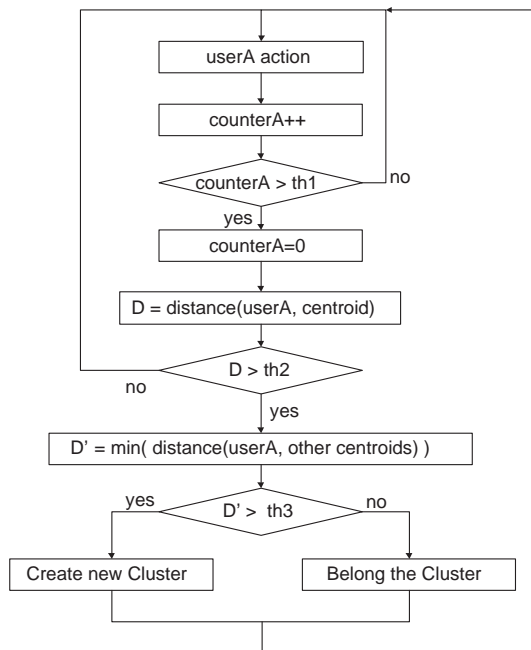


図 4 ユーザのクラスタ参加・離脱の流れ

変化した際において、予測精度が大きく低下してしまうことが予想される。

そこで本研究では、ユーザがセントロイドとの距離に応じて、クラスタからの離脱や参加、新規クラスタの作成を行う手法の提案を行う。本提案手法のアルゴリズムを以下に示す。また、図 4 に提案手法の流れを示す。

- (1) ユーザがコンテンツを利用・評価する毎にカウンタを増やす
- (2) カウンタの値が閾値 1 以上になったら、所属するクラスタセントロイドとの距離を測定する
- (3) クラスタセントロイドとの距離が閾値 2 以下であれば最初に戻り、閾値 2 以上であれば自分の所属するクラスタ以外のクラスタのセントロイドとの距離を測定する
- (4) そのうち、距離が最小のクラスタセントロイドとの距離が閾値 3 以下であればそのクラスタに所属し、閾値 3 以上であれば新しいクラスタを作成し、そのクラスタのセントロイドになる。
- (5) 1~4 を繰り返す

4. シミュレーション

4.1 処理時間、予測精度の比較

4.1.1 シミュレーション方法

本提案手法の有効性を検証するために、以下の手順に従ってシミュレーションを行う。システムの評価基準には処理時間及び予測精度を用いる。

本シミュレーションにおいて、クラスタリングアル

表 1 実験パラメータ

入力モデル	Random 分布, Zipf 分布
ユーザ数	1000, 2000, 3000, 4000, 5000
クラスタ数	5, 10, 20, 30
コンテンツ数	100
ジャンル数	5

ゴリズムにはクラスタ数を設定するために k-means 法を用いた。

- (1) ユーザ数, 入力モデル, クラスタ数を設定する
- (2) 1 の条件に従い, ユーザプロフィール (ユーザのコンテンツ評価履歴) を作成する
- (3) ユーザプロフィールを正規化する
- (4) 全てのユーザが一入一回ずつシステムを利用したと仮定して, 通常の協調フィルタリングを行い各ユーザに対する推薦値を求める
- (5) 1 で設定したクラスタの数だけ, k-means 法を用いてユーザをクラスタリングする
- (6) 各クラスタ毎に協調フィルタリングを行う
- (7) 4 と 6 の結果から実行時間, 予測精度の 2 点でシステムを評価し従来方式と提案方式の比較を行う。
- (8) 1 のパラメータを変更し, シミュレーションを繰り返す

入力データである, ユーザの評価モデル作成には Random 分布, Zipf 分布の 2 種類を用いて作成する。Zipf 分布は WEB のキャッシングシミュレーションに用いられている分布で [6], 嗜好の偏りの強いユーザ群として考えられる。一方の Random 分布は嗜好の偏りの弱いユーザ群として考えられる。

本シミュレーションにおける各パラメータは, 表 1 に示す。シミュレーション環境は, CPU : 1GHz, メモリ : 512MB, OS : WindowsXP である。

4.1.2 予測精度の評価基準

予測精度は, 式 (3) ~ (6) の 4 つの基準を用いて評価する。ここで, M はコンテンツ数, $p_{i,j}$ はユーザ i に対するコンテンツ j の推薦値, $r_{i,j}$ はユーザ i のコンテンツ j の評価値, $|test|$ はユーザの評価モデルから推薦した結果, $|CF|$ は協調フィルタリングによる推薦結果を表す。

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_j |p_{i,j} - r_{i,j}| \quad (3)$$

$$topN = \frac{|test|_{topN} \cap |CF|_{topN}}{N} \times 100 \quad (4)$$

$$precision = \frac{|test| \cap |CF|}{|CF|} \times 100 \quad (5)$$

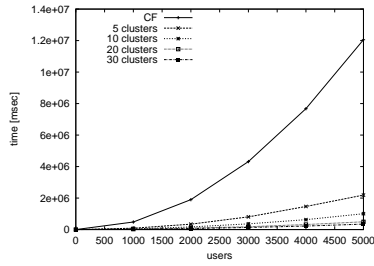


図 5 処理時間 (Zipf)

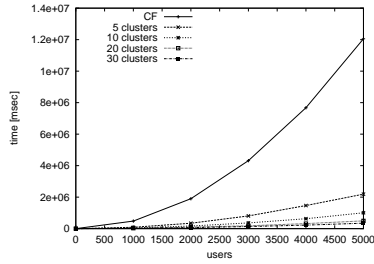


図 6 処理時間 (Random)

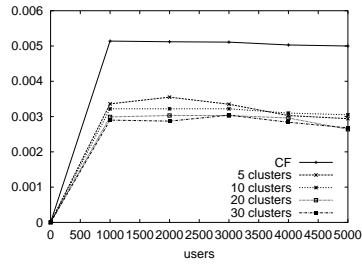


図 7 MAE (Zipf 分布)

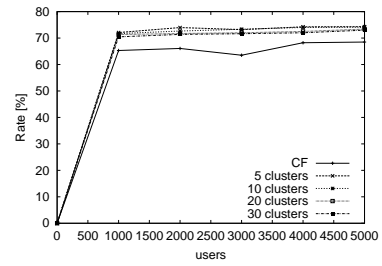


図 8 Top-10 (Zipf 分布)

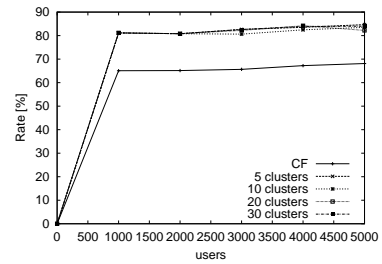


図 9 precision (Zipf)

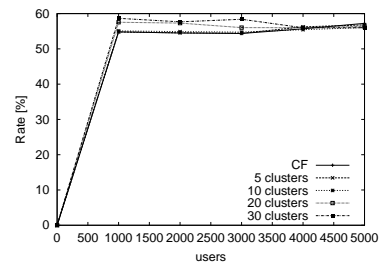


図 10 recall (Zipf)

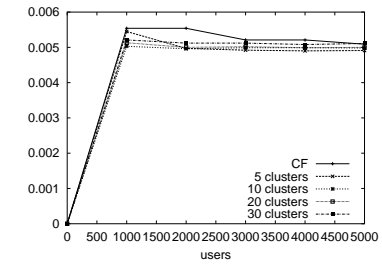


図 11 MAE (Random)

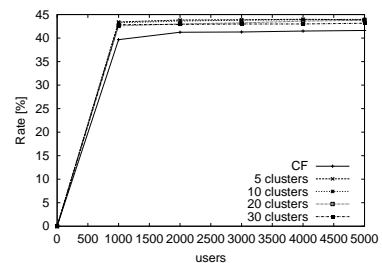


図 12 Top-10 (Random)

$$recall = \frac{|test| \cap |CF|}{|test|} \times 100 \quad (6)$$

式 (3) の MAE は誤差であり，数値の少ないほうが予測精度が良い．式 (4) の top-N は，予測推薦値の高いほうから N 個のコンテンツを推薦した場合にどれだけ正確な推薦ができたかを表す．式 (5)，(6) の precision，recall はそれぞれ，推薦値が閾値以上のコンテンツを推薦した場合に，システムが推薦したコンテンツはどれだけ正しいか，本来ならば推薦されるコンテンツをシステムはどれだけ推薦できたかを表す．これら 3 つの基準は最高が 100 であり，数値の大きいほうが予測精度が良い．

4.1.3 シミュレーション結果

図 5，6 に処理時間を，図 7～14 に予測精度を示す．これらの図より本提案方式は Zipf 分布，Random 分布のいずれにおいても従来手法と同程度かそれ以上の予測精度でかつ高速化することが確認された．

4.2 ユーザの嗜好の変化への対応

4.2.1 シミュレーション方法

3.3 章で提案したアルゴリズムを検証するために，

ユーザー一人の嗜好を意図的に変化させていった場合の予測精度を 1):従来方式，2):提案方式 (クラスタ固定)，3):2)+3.3 章のアルゴリズムの 3 手法において測定する．予測精度には MAE を用いる．

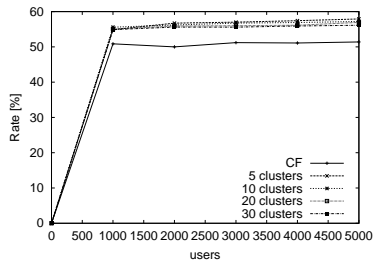


図 13 precision(Random)

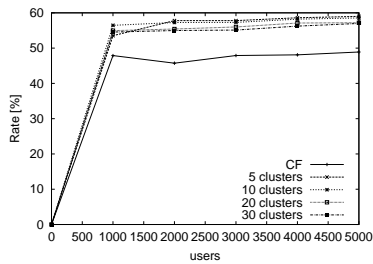


図 14 recall(Random)

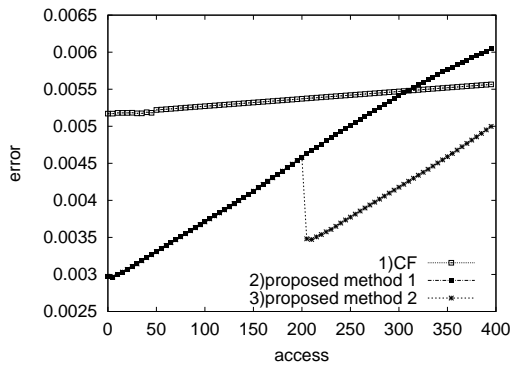


図 15 嗜好の変化による MAE の推移

ここでいう意図的な変化とは、ある特定のジャンルのコンテンツのみにアクセスする事を表す。

本シミュレーションでは、基礎検討のため嗜好を変化させるユーザをひとりのみとし、それ以外のユーザの嗜好には変化はないものとする。

4.2.2 シミュレーション結果

嗜好の変化による予測精度の推移を図 15 に示す。従来方式では MAE はほぼ横ばいとなるが、方式 2) ではクラスタが固定されているために予測精度が回数を重ねる毎に悪化し、従来方式よりも悪くなってしまふ。方式 3) ではある程度まで行くとクラスタ移動がおき、再び予測精度が向上していることが確認できる。これにより、本提案方式はユーザの嗜好の変化に対応できる事が検証された。

5. 考 察

シミュレーションによりクラスタ数を増加させるほど処理時間が短くなる事が分かった。しかし、本シミュレーションでは確認できなかったが、クラス

タ数を増加させすぎると、クラスタメンバの数が減少し予測精度が落ちてしまう事が予測される。したがって、処理時間・予測精度の面から最適なクラス多数を求める手法を検討する必要がある。

また、ユーザの嗜好の変化への対応は、図 4 の閾値を適当な値を手動で設定して行った。しかし、この閾値の値により予測精度や演算コストなどに変動が出ると思われるので、引き続きシミュレーションを行い、最適な閾値を自動的に求める手法を検討する必要がある。

6. まとめと今後の課題

本稿では、モバイル環境における効率的な情報推薦システム構築を目的とし、協調フィルタリング方式の問題点を改善する為のユーザクラスタリングを用いた手法を提案した。またシミュレーションによる検証を行い、提案方式の有効性を示した。

以下に今後の課題を示す。

- 全ユーザの嗜好を変化させた場合のシミュレーション
- 実データを用いた評価実験
- 協調フィルタリング方式を用いた情報推薦システムの為の効率的なユーザ及びコンテンツ管理手法の検討

文 献

- [1] 三菱総合研究所, "次世代携帯電話に関する調査結果," <http://research.goo.ne.jp/cgi-bin/goo.cgi?::SID=backNumber&.:VP=0101op19/01.html>, Mar, 2001
- [2] ビデオリサーチ, "携帯電話の携帯電話の所有と利用状況," <http://www.videor.co.jp/data/member/marketing/phone/index.htm>, 2001
- [3] Badrul M.Sarwar 他, "Using Filtering Agents to Improve Prediction Quality in the GroupLens Research Collaborative Filtering System," ACM conference on Computer supported cooperation work, 1998
- [4] John S.Breese 他, "Empirical Analysis of Predictive Algorithm for Collaborative Filtering," 14th Conference on Uncertainty Artificial Intelligence, 1998
- [5] G.Karypis, "Evaluation of item-based top-n recommendation algorithms," Proceedings of the Tenth International Conference on Information and Knowledge Management(CIKM), 2001
- [6] M.Aida, T.Nakanishi, "Design of Address Cache Table for Data Networking Based on Complementary Use of the Two Types of Zipf's Law," Proceedings of the 1997 Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Tech., 1997