

2016年度 修士論文

Self Collaborative Search System:人-システム
間協調検索の提案と評価

基幹理工学研究科
情報理工・情報通信専攻

出縄 弘人

学籍番号 5115F046-2

指導教員 酒井 哲也 教授

提出 平成29年1月30日

Self Collaborative Search System: The User-system collaboration with Query Change Model

DENAWA Hiroto

Thesis submitted in partial fulfillment of
the requirements for the degree of

Master in Computer Science and Engineering

Student ID	5115F046-2
------------	------------

Submission Date	January 30, 2017
-----------------	------------------

Supervisor	Professor Tetsuya Sakai
------------	-------------------------

Department of Computer Science and Engineering
Graduate School of Fundamental of Science and
Engineering
Waseda University

概要

検索システムが発達するにつれ、システムはより人の意図をくみ取り協調的に作動するように求められてきている。そんな中、最近提案されたダイナミック情報検索は、人とシステムとの協調検索の一例ではないかとも言われており、協調検索技術との親和性が非常に高い。しかし、協調検索技術を応用した1人用の検索システムはいまだなく、研究の余地があるだろう。そこで本論文では、ダイナミック情報検索に協調検索のフレームワークを適用した、人-システム間協調検索を提案する。また、探索型検索における提案システムの有用性について評価した。

目次

第1章	背景	1
第2章	関連研究	3
2.1	協調検索	3
2.1.1	役割型協調検索	3
2.1.2	協調の効果	3
2.2	ダイナミック情報検索	4
2.3	協調検索としてのダイナミック情報検索	4
第3章	Self Collaborative Search System	5
3.1	概要	5
3.2	クエリ推薦モジュール	5
3.3	検索エンジン	5
3.4	QCMモジュール	6
第4章	ユーザー実験	9
4.1	検索タスク	9
4.2	評価指標	9
4.3	被験者	9
4.4	実験手順	10
4.5	実験結果	10
4.6	アンケート結果	11
第5章	考察	12
第6章	結論	13

目次

3.1	システム概要図	6
3.2	システムのスクリーンショット	7
4.1	どちらの検索結果に属する閲覧ページから影響を受けて検索クエリを作成したか	11
4.2	どちらの検索結果に注意が行っていたか	11

表目次

3.1 3.2 の各要素の説明	8
4.1 実験結果	10

第1章 背景

伝統的な検索では、ユーザーは自分の検索意図について十分に理解があり、それを複数の単語からなる検索クエリによって表現できると考えられていた。しかし、実際には数個の単語では検索意図を十分に表すことは難しく、システム側も常に適合文書を返すことができるわけではない。それどころか、ユーザーの検索意図すらあいまいで、適合しているかどうか判断が難しいケースがある。この場合、ユーザーはトライアルアンドエラーを繰り返しながら検索意図を明確にしていくことになる。このような必ずしもユーザーの検索意図が明確ではないが、なんらかの目的があるようなタスクを探索型検索という。White ら [1] によれば、探索型検索では、多様な側面から検索を行う必要がある。そして、タスクの達成のために複数の文書の収集と比較をしなければならない [2]。したがって、単一の検索クエリと一つの検索結果でタスクが終わることはなく、しばしば複数の検索クエリと複数の検索結果を用いて多角的に文書の収集にあたることになる。例えば、「地球温暖化」をテーマにしたレポートを書くタスクを考える。このとき、地球温暖化の「原因」、各国の「対策」や「経済効果」、または地球温暖化の「真偽」など様々な観点があり、それぞれ関連する多くの文書が存在する。こういった多様な観点から重要な情報を得るには、網羅的な文書収集をもとにテーマをよく理解し重要な観点を選別することが需要である。梅本ら [4] は、こうした複数の観点に関して網羅的な情報収集が必要なタスクを網羅性志向タスクと名づけ、これに特有の以下2つの課題を挙げている。

1. 検索対象のテーマにどういった観点が存在し、それらがどの程度重要であるかが分かりにくい
2. 各観点に関する重要な情報がどの程度存在しているかや、そのうち現時点までの検索で調べきれしていないものがどの程度残っているのかが分かりにくい

どちらも、ユーザーの検索対象に対する理解が十分ではないために起こる。前者の結果として、探索済みでない観点についての適合文書が検索結果に含まれない場合、その観点についての検索クエリを思いつきにくく、網羅的な情報を得るために多くの検索クエリを投じることになる。また後者の結果としては、新たな観点が得られないまま必要以上に検索をつづけたり、逆に早期に検索を打ち切ってしまい、必要な情報が得られないといったことが起こりうるだろう。

ところで、協調検索の分野ではこういった探索型検索やそれに近いタスクに取り組んできた。というのも、そもそも協調というのは複数のユーザーの異なる視点を生かした取り組みだからである [6]。特に、役割型の協調検索では、役割に応じてユーザーが異なった検索行動を行うことで、検索精度の向上とともに新しい観点をも得やすいということが分かっている [5]。

例えば、Pickens ら [5] の提示した Prospector-Miner モデルは、1人が幅広く次々と検索クエリを変えながら検索する一方、もう一人が相手の未閲覧文書を確認し、取りこぼしのない網羅的な検索を目指している。上記の課題について、一つ目の課題に対しては、異なるユーザーの適合文書の選択によって

アプローチされている。また二つ目の課題に対しては未閲覧文書の精査により、一定のアプローチがとられていると言えるだろう。

この事から考えると、協調検索で培われた知見は探索型検索タスクに有効であり、もし一般の探索型検索タスクに応用できれば、上記課題を解決した効果的なシステムの構築が可能になるだろう。しかし、協調検索は通常複数人が互いに協調して情報検索を行うことであり [8][9]、一人向けの検索ではないために、実際には難しいようにも思える。

そんな中、Tamine[7]らは、新たに人-システム間協調検索の概念を提案した。そこでは、インタラクティブ情報検索システム [14][15] やその延長であるダイナミック情報検索システム [16][17] が、人-システム間協調検索として取り上げられている。これらのシステムは基本的に一人用の検索システムであり、システムがユーザーの検索意図を何らかの手段で受け取って、意図に合わせた結果を返すシステムである。確かにユーザーと強調して動作するという点で、協調検索と言えるだろう。しかし、これらのシステムは協調検索の技術を取り入れて作られているわけではない。ダイナミック情報検索では、ユーザーのパートナーであるシステムが、適合文書を選択したり、検索クエリを投げるといった検索行動を取らない。そのため、インターフェースを介した明示的な協調がユーザーとシステムの間にはなく、暗黙的である。これを踏まえると、ダイナミック情報検索システムに何らかの明示的な協調の仕組みを加えることで、探索型検索におけるより効果的な検索システムをつくることができると考えられる。山本ら [3] によれば、自らが閲覧した文書とパートナーのクエリが検索クエリの情報源としてよく用いられていたとされている。何らかの明示的な協調としては、検索クエリと検索結果の文書が考えられるだろう。

そこで、役割型協調検索ではそれぞれのユーザーに役割に適した別々の検索結果を返すという特徴を生かし、明示的な協調効果をダイナミック情報検索に組み込んだ、新しい検索システムを提案する。この新しい提案システムでは、まずユーザーの検索クエリに合わせて、自動的にクエリ候補を推薦する。これにより、ユーザーは自分ではすぐには思いつかなかったかもしれない新しい観点を得ることができる。さらに、クエリ候補で実際に検索をシステム側で行い、それをダイナミック情報検索の技術を用いてリランキングする。ユーザーはこのリランキングされた結果とクエリ候補を合わせて見ることで、クエリ候補に結びつく文書が上位に存在すればするほど、重要な観点であるということがわかる。Query Change model[19]のようなダイナミック情報検索では、情報の新規性を優先するのでユーザーは自分にとって新しく重要な観点を得ることができる。

本論文では、このシステムを Self Collaborative Search System と名付け、探索型検索における有用性について検討していく。具体的には以下の二つの仮説を検証する。

探索型検索において、

RQ1) 提案システムは、一般の検索システムに比べてより多くの観点に関する情報を集められる。

RQ2) 提案システムが提示するリランキング結果によりユーザーに明示的な協調効果を与える。

第2章 関連研究

この章では、提案システムに関連する技術について先行研究を紹介する。

2.1 協調検索

2.1.1 役割型協調検索

役割型協調検索は、協調検索における一つの大きな研究分野である。それぞれ特定の役割を与えられたユーザーが、役割に基づいた検索行動を通じて一つの検索タスクに取り組む。役割によって自身の検索行動がある程度制約され、また、それによって協調の仕方を含めた検索行動全体が規定される [31]。したがって、どのような役割をユーザーに与えるかが非常に重要である。

例えば、Pickens ら [5] による Prospector-Miner モデルでは、検索の観点を広げるために検索クエリを入力する役割 (Prospector) と、検索結果の適合性を主に判定する役割 (Miner) に分かれて検索を行う。ユーザーは、それぞれが役割に応じた専用のインターフェースを持つほか、共有のインターフェースで互いの検索結果を閲覧することができる。専用インターフェースには、各々の検索行動によって動的にランキングが変化する別々の検索結果が表示され、こちらは暗黙的な協調となっている。一方共有のインターフェースにより、明示的な協調を行うこともできる。

また、Shah ら [27] は Prospector-Miner に似た Surveyor-Gatherer モデルを提案している。このモデルでは、どちらも検索クエリを入力できるし、適合文書の判定も行っていく。しかし、Gatherer が適合していることに、Surveyor は多様であることに注意して文書を収集する、という違いがある。Shah らは、検索結果のクラスタリングによって、役割毎に提示すべき検索結果を分類し、二つの役割における検索戦略の違いをサポートしている。

以上二つとは異なる視点から役割を分担した研究もある。Soulier ら [26] は専門家か初学者かといった区分で役割を分けている。この場合、初学者は検索テーマについて表面的なことを収集しつつ、新しい知識つけていく。一方専門家は、検索のテーマについて、深い知識や異なる知識などの関連性、検索テーマの周辺テーマなどを見つける役割を担う。

2.1.2 協調の効果

検索クエリの作成や閲覧文書の選択といった検索行動と、閲覧文書や入力クエリの共有といった協調的要素との関係の分析は、役割が適切であるかを判断するうえで重要である。Yue ら [30] は、クエリ修正がどのような協調的要素から影響を受けるかを子細に検討している。協調的要素としては、ユーザー間のチャット、どちらかのユーザーが閲覧した文書や入力したクエリなどが挙げられている。実験の結果、Yue らは 78 % ものクエリがチャットの内容に影響されていると結論を出している。しかし、こ

の実験は役割を定めない状況で行われており、役割型協調検索に比べ、自身の検索行動指針が明確でなかったと考えられる。したがって実験パートナーと意思疎通を図りながら検索する必要があり、そのことが影響している可能性がある。

また、山本ら [3] は、この研究を発展させ、Surveyor-Gatherer モデルにおいてクエリ修正がどのような協調的要素に影響されているかを研究している。結果として、Gatherer についてはパートナーの検索クエリ、次いで自身が閲覧した文書に影響されやすく、Surveyor は自身が閲覧した文書、次いで自分の過去のクエリに影響されることを明らかにした。

2.2 ダイナミック情報検索

ダイナミック情報検索はインタラクティブ情報検索の延長として発展してきた。

ダイナミック情報検索のプロセスの特徴としては、基本的にマルコフ決定過程や部分観測マルコフ決定過程 [13] でモデル化されている [19][22][21] ことである。ユーザーの検索意図を状態として、ユーザーの検索クエリやクリックなどのフィードバックにより、検索タスク全体を通してモデルが最適化される [12]。この時、ユーザーは最適化に合わせて、元の検索結果からリランキングされた検索結果を受け取る。

検索行動がマルコフ決定過程でモデル化されているということであれば、Tran[18] らの研究もその一つであるが、これはダイナミック情報検索とは一般には言われないうだ。一方、同じようにマルコフ決定過程を採用しながら Guan[19] らの Query Change Model はダイナミック情報検索として言われることが多い [17][20][21]。この差は主に、強化学習 [37] もしくはそれに類するアプローチによって学習しているかによっているが、本質的な差はあまりないように思える。

ダイナミック情報検索がインタラクティブ情報検索と大きくことなる点は、ダイナミック情報検索では未来のフィードバックを考慮して検索タスク全体を通してモデルを最適化するのに対し、インタラクティブ情報検索ではそのような最適化は行われない。したがって、インタラクティブ情報検索がその都度その都度ごとの検索意図にしか最適化できないのに対し、ダイナミック情報検索では大枠の検索タスクを考慮して最適化できる分、より正確に適合文書を得ることができる Sloan[12] らは主張している。

2.3 協調検索としてのダイナミック情報検索

協調検索には、明示的な協調効果と暗黙的な協調効果が存在する。明示的な協調としては、適合評価などの検索行動の結果や検索行動それ自体を共有すること [36] があげられる。これらは大抵専用のインターフェースを通じて行われるため、インターフェースの研究 [24][23] としても進められてきた。一方で暗黙的な協調としては、[5][27][25] などに代表される、ユーザーの検索行動をもとにシステム側で検索結果などを調整することが挙げられるだろう。

ダイナミック情報検索を協調検索と捉えたとき、ユーザーはシステム側でリランキングされた検索結果を受け取るのみであり、暗黙的な協調のみであることがわかる。本研究では、ダイナミック情報検索への協調検索技術の適応を考えるにあたり、この明示的な協調効果を付与することを考えていく。

第3章 Self Collaborative Search System

ここから提案システムについて紹介する.

3.1 概要

提案システムは, ユーザー, 検索エンジン, Query Chage Model モジュール (以下 QCM モジュール), クエリ推薦モジュールからなる. 図 3.1 にシステムの概要図を示した. 黒の矢印は, ユーザーのアクションによって直接起こる流れであり, 橙色の矢印はシステム側が自動的に行う処理である. また, 図 3.2 に実際のシステムのインターフェースと, 表 3.1 にインターフェースのそれぞれの要素の役割を示した.

1. ユーザーがクエリを入力
2. クエリ推薦モジュールにより複数のクエリ候補を生成
3. クエリ候補それぞれに対して検索エンジンから検索結果を取得
4. 得られた検索結果を QCM モジュールによりリランキング
5. ユーザーが入力したクエリに対して検索エンジンから検索結果を取得
6. この検索結果とリランキングされた検索結果を別々にユーザーが取得

3.2 クエリ推薦モジュール

クエリ推薦は, ユーザーに新しい観点を提示するという点で重要である. 後述の QCM モジュールと合わせて, クエリによって表される観点がどの程度重要であるかを示すことができる. 本論文の目的は, クエリ推薦の正確さではない. そこでクエリ推薦の何かしらモデルを使うことは避け, ユーザーがなるべく違和感を感じることなくシステムを使えるよう, Bing Search API¹を利用した.

3.3 検索エンジン

ここでいう検索エンジンは, 提案システム全体を示すのではなく, 入力したクエリに対して初期検索結果を出力するシステムである. ここでも, クエリ推薦モジュールと同様の理由により Bing Search API を利用している.

¹Bing Search API:<https://www.microsoft.com/cognitive-services/en-us/bing-web-search-api>

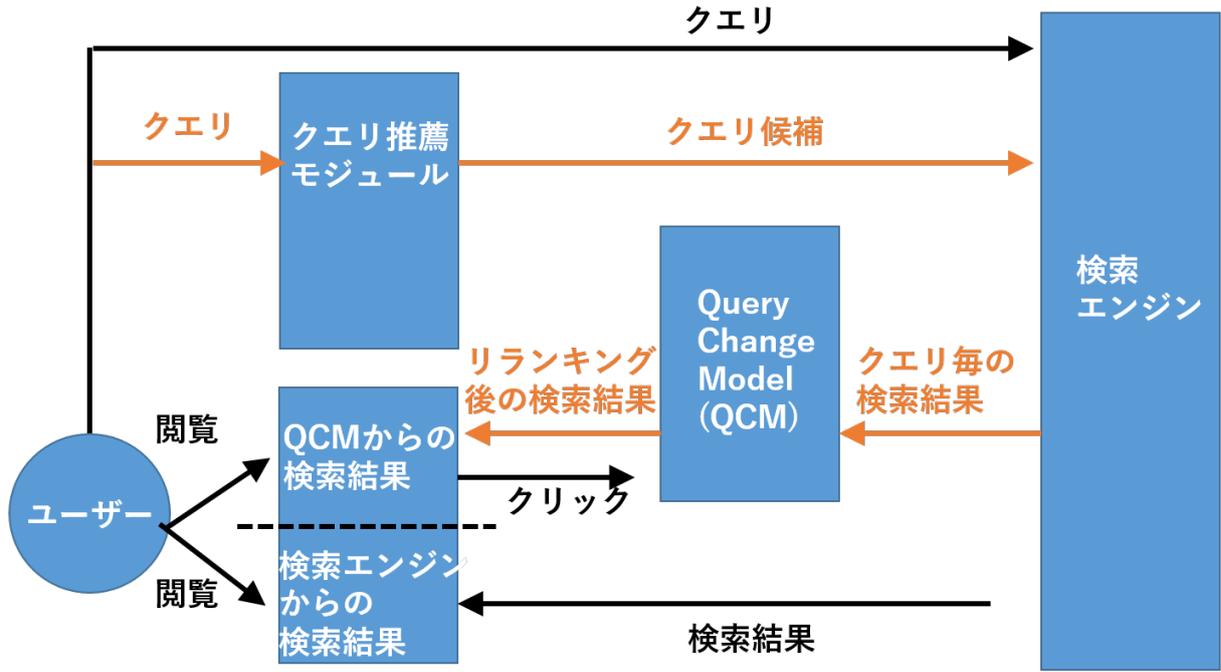


図 3.1: システム概要図

3.4 QCM モジュール

QCM モジュールは、ユーザーに複数の観点を提供するためのモジュールである。複数のクエリとそれぞれに紐づいた検索結果を検索エンジンから受け取ると、以下の式 3.1 の式にしたがってリランキングを行い、ユーザーにクエリと一緒に提示する。このとき、検索タスク全体を通してのユーザーのクエリ集合を $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_i, \dots\}$ 、クエリ候補を $S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{ij}, \dots\}$ 、クエリ候補による検索結果の集合を $D_{ij} = \{d_{ij1}, d_{ij2}, \dots, d_{ijk}, \dots\}$ 、その集合を $D_i = \{D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{ij}, \dots\}$ 、さらに a をクエリの単語が増えた減ったかに依存する行動の集合とする。

$$Score(s_{ij}, d_{ijk}) = P(s_{ij}|d_{ijk}) + \gamma \sum_a P(s_{ij}|q_{i-1}, D_{i-1}, a) \max_{d_{ijk} \in D_{i-1}} P(q_{i-1}|D_{i-1}), \quad (3.1)$$

γ はパラメータで、今回は 1 に設定した。式の $P(s_{ij}|d_{ijk})$ は、その文書が現在のクエリと適合する確率で、 $\max_{d_{ijk} \in D_{i-1}} P(q_{i-1}|D_{i-1})$ は過去のクエリと過去の文書集合の適合確率である。 $P(s_{ij}|q_{i-1}, D_{i-1}, a)$ は、クエリの増減によって定まる確率であり、Query Change Model においてこの確率は、新しく単語がクエリに増えたときに大きくなるような確率として定められている。このことにより、新規性を重視したスコアをつけることができる。また、クエリと文書の適合確率は、Bayesian belief network model[40] により

$$P(s_{ij}|d_{ijk}) = 1 - \prod_{t \in s_{ij}} (1 - P(t|d_{ijk})), \quad (3.2)$$

と表される。なお $P(t|d_{ijk})$ はディリクレスムージング [39] を用いた言語モデルにより計算される。

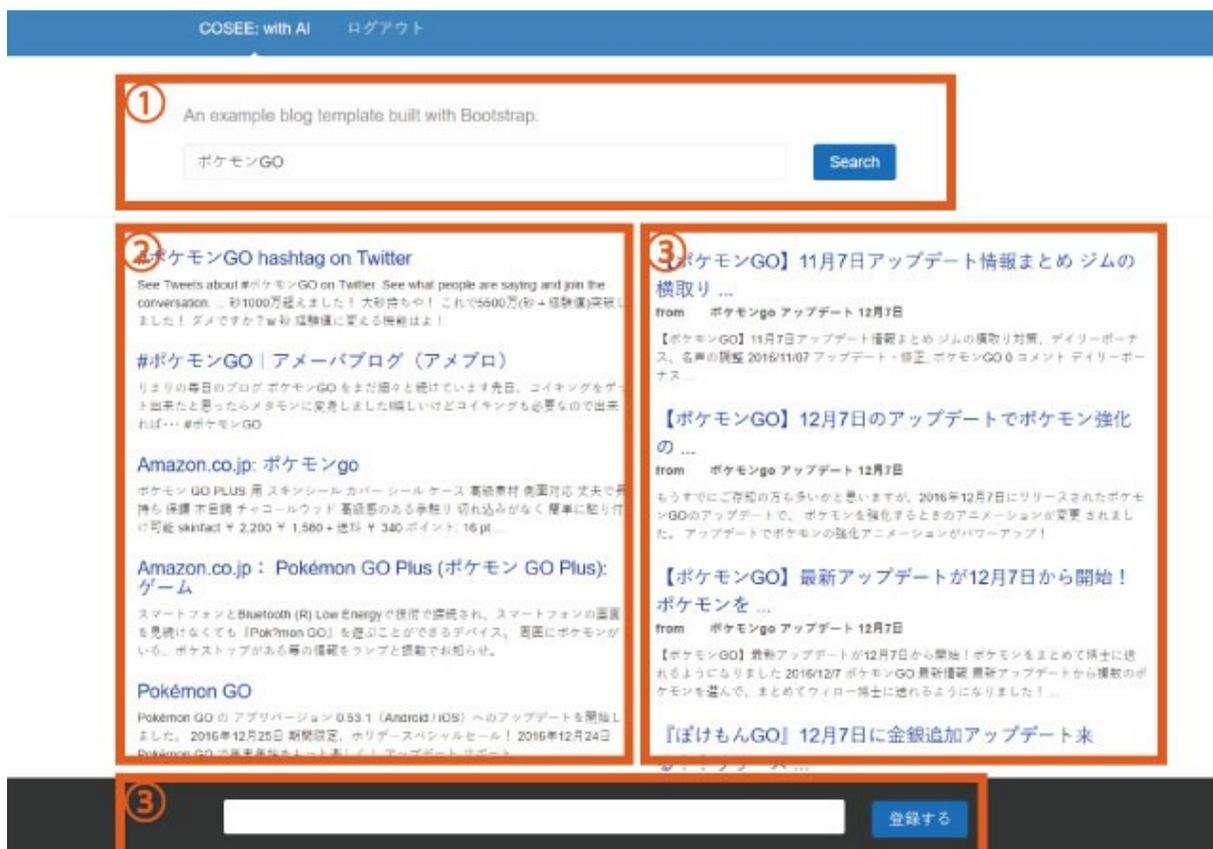


図 3.2: システムのスクリーンショット

表 3.1: 図 3.2 の各要素の説明

番号	名称	機能概要
1	検索ボックス	検索クエリを入力する欄
2	検索結果	入力したクエリに対する検索結果
3	推薦結果	システム側が推薦する検索結果
4	文章収集ボックス	ユーザーが Web ページから集めた文章を入力する欄

第4章 ユーザー実験

4.1 検索タスク

協調検索ではしばしば、情報を網羅的に収集するタスクや、旅行計画のような意思決定をしなければならぬようなタスクが検索タスクとして利用されている [32]。本研究では、探索型検索について調査するため、情報を網羅的に収集するタスクを用いる。

具体的には、山本ら [3] や Soulier[25] が実際に利用している、地球温暖化に関するタスクを選択した。また、Shah ら [35] は、探索型検索のタスクにおいて 20 分から 30 分の間で一度一通りの検索を終えることを示している。本実験ではそれを参考にして、検索タスクの実施を 20 分間に設定した。

タスクの内容は以下のようなものである。

あなたは、授業の一環として「地球温暖化に対する世界の取り組み」というテーマで、A4 用紙 4 枚のレポートをまとめることになっています。実験システムを使い、20 分間かけ、レポートを執筆するために役に立つと感じるページをクリックし、参考になりそうな文章を選択して保存して行ってください。20 分間で、テーマに関する有用な文章を、できる限り、さまざまな観点から多く集めることがあなたの目的です。保存する文章は、引用としてレポートに使用することを考慮して、1 文程度の長すぎないものを選んでください。

タスクの内容からわかるように、山本ら [3] の実験のように適合文書をブックマークするようなタスクではなく、適合文章を収集するタスクである。適合文書の収集によって、ユーザーがどれほど多く観点からタスクに取り組めたかを測ることが目的である。

4.2 評価指標

RQ1) を検証するため、ナゲット [33][34] の概念を導入する。Aslam ら [34] によれば、ナゲットは検索テーマに関連したイベントや場所、時刻などを一つ含む短い文章のことだという。

今回、収集した文章から人手でナゲットを収集し、収集した文章の数でナゲットの数を割ったものを多様化度として、評価尺度とした。この時、ナゲットの重複は許さない。

4.3 被験者

被験者は、日ごろから Web 上の検索に慣れ親しんだ 20~40 代の男女 9 名で、男性は 5 名、女性は 4 名であった。ベースラインシステムで検索タスクを行った者は 4 名であり、男性と女性が 2 名ずつであった。提案システムで検索タスクを行った者は 5 名であり、男性が 3 名、女性が 2 名であった。

4.4 実験手順

各被験者について、以下の手順で実験を進めた。おおむね 30 分程度で実験は終了した。

1. 実験についての事前説明として、20 分間検索と文章の収集にあたること、実験のためにログを保存することを説明した。
2. ユーザー登録後、チュートリアルの確認。チュートリアルでは、図解で検索タスクの使い方を説明した。不明な点などがあった場合は随時このタイミングで受け付けた。
3. 20 分間かけて検索タスクを行ってもらった。
4. タスク終了後、タスクに関連してアンケートに回答してもらった。アンケートでは、検索クエリを入力する際に何を参考にしたかや、提案システムでタスクを行ったユーザーには、加えて、システム側から提示された検索結果への注目度や、有用性について主観的な評価を答えてもらった。これは、主に RQ2) の検証のために用いる。具体的には以下のようなものである。

- 検索クエリについて
 - 情報源として閲覧した Web ページに影響を受けたか
 - 受けたとしたらそれはどちらの検索結果からか
 - 情報源としてシステム側が提示したクエリ候補には影響されたか
- 検索結果について
 - 左右の検索結果のうちどちらにより注意が行ったか
 - 左側の検索結果は満足いく結果だったか
 - 右側の検索結果は満足いく結果だったか
 - 右側の検索結果は役に立ったか

4.5 実験結果

実験結果を 4.1 に示す。ベースラインシステムにおいて、ユーザーが収集した文章の平均の文字数は 79.2 であり、多様化度は 1.25 であった。一方提案システムでは、ユーザーが収集した文章の平均の文字数は 79.7 文字であり、多様化度は 1.46 であった。

表 4.1: 実験結果

	ベースラインシステム	提案システム
収集した文章の平均長	79.2	79.7
多様化度	1.25	1.46

ユーザーが収集した文章の長さには大きな差がない中、提案システムではわずかに多くのナゲットを収集できている。ベースラインシステムと比べ、比較的多様な観点について検索を行えたことが伺える。

4.6 アンケート結果

提案システムでの検索タスク後に行ったアンケートの結果を記す。図 4.1 は、システム側と検索エンジン側のどちらの検索結果に属する閲覧ページに影響されて検索クエリを作成したか、というアンケートの結果である。これを見ると、5 人中 4 人が右側、つまりシステムが推薦した文書にはあまり協調の影響を受けてないことがわかる。また、システムが推薦したクエリ候補に影響を受けたかというアンケートに対しては、一人を除いて「全く影響を受けていない」と回答した。

図 4.2 は、どちらの検索結果に注意が向っていたかに関するアンケート結果である。結果、システム側が提示した検索結果にはあまり注意が向いていないことがわかる。

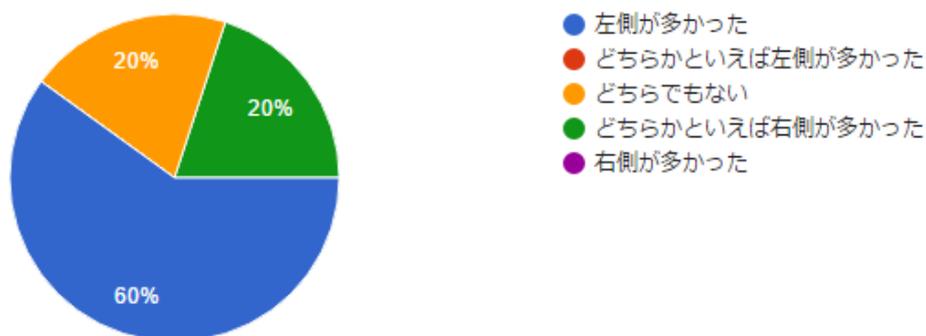


図 4.1: どちらの検索結果に属する閲覧ページから影響を受けて検索クエリを作成したか

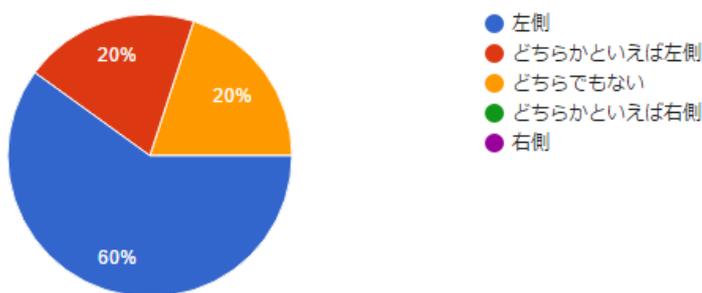


図 4.2: どちらの検索結果に注意が行っていたか

第5章 考察

表 4.1 の結果だけ見れば、ある程度提案システムの有効性が示唆されうるようにも思える。しかし、アンケートの結果からみればそれはやや疑わしい。というのも、アンケートの結果からはユーザーが協調の恩恵を受けてるとはいいがたいからである。図 4.2 の結果を見る限り、そもそもユーザーはシステム側の提示した検索結果にはあまり注意が向けておらず、したがって、図 4.1 のように協調の効果も受けずらいといった結果になったのではないだろうか。ただし、図 4.1 で唯一、システム側が提示した検索結果から影響を受けたと回答したユーザーは、システム側が提示したクエリにも影響されたと答えている。彼は、「複数のワードで結果が出るため検索しなおさずに済んだ」としており、しっかり協調の効果により、効率よく多くの観点から情報を収集していたといえるだろう。このことから、システム側が提示した検索結果に注意を惹くことができれば、すくなくとも明示的な協調効果は増し、多様化度も向上した可能性があるだろう。

今回のように実験結果を裏付けるアンケート結果が得られなかった理由として、実験人数の不足がまず挙げられる。実験人数の不足により、個人の検索スキルに依存した結果になってしまった可能性がある。また、ナゲットを人手で収集していることも問題点として挙げられる。

第6章 結論

本論文では、協調検索としてのダイナミック情報検索は探索型検索において有用であるという観点から、役割型協調検索とダイナミック情報検索を接合した **Self Collaborative Search System** を提案した。さらには、ユーザー実験を通じてその可能性を評価した。実験人数の不足や、協調の効果が薄かったことで、確信のもてる結果は得られなかったが、実験結果からは提案システムがベースラインと比較してより多角的な情報を集められる可能性が示唆された。

今後の課題としては、実験人数の拡充や Yue[38] らの研究のようにユーザー行動の推移に基づく分析などが今後の課題として考えられる。合わせて、評価指標についても再検討が必要だろう。

謝辞

本研究の機会を与えて下さり，懇切丁寧なご指導を賜りました酒井哲也教授に深く感謝，御礼申し上げます。また様々な面で助言をくださった研究室の先輩方や後輩，同輩に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] White, Ryan W., and Resa A. Roth. "Exploratory search: Beyond the query-response paradigm." *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services* 1.1 (2009): 1-98.
- [2] Wildemuth, Barbara M., and Luanne Freund. "Assigning search tasks designed to elicit exploratory search behaviors." *Proceedings of the Symposium on Human-Computer Interaction and Information Retrieval*. ACM, 2012.
- [3] 山本岳洋, 山本光穂, 田中克己, "役割に基づく協調検索における検索行動分析." *日本データベース学会和文論文誌*, Vol. 14, No.14, 2016年3月.
- [4] 梅本和俊, 山本岳洋, and 田中克己. "網羅性指向タスクにおける未閲覧情報量の提示." *人工知能学会論文誌* 32.1 (2017).
- [5] Pickens, Jeremy, et al. "Algorithmic mediation for collaborative exploratory search." *Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. ACM, 2008.
- [6] Gray, Barbara. "Collaborating: Finding common ground for multiparty problems." (1989).
- [7] Tamine, Lynda, and Laure Soulier. "Collaborative Information Retrieval: Frameworks, Theoretical Models, and Emerging Topics." *Proceedings of the 2016 ACM on International Conference on the Theory of Information Retrieval*. ACM, 2016.
- [8] Golovchinsky, Gene, Pernilla Qvarfordt, and Jeremy Pickens. "Collaborative information seeking." *Information Seeking Support Systems* (2008): 47-48.
- [9] Foster, Jonathan. "Collaborative information seeking and retrieval." *Annual review of information science and technology* 40.1 (2006): 329-356.
- [10] Jin, Xiaoran, Marc Sloan, and Jun Wang. "Interactive exploratory search for multi page search results." *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web*. ACM, 2013.
- [11] Bellman, Richard. "A Markovian decision process." No. P-1066. RAND CORP SANTA MONICA CA, 1957.
- [12] Sloan, Marc, and Jun Wang. "Dynamic information retrieval: Theoretical framework and application." *Proceedings of the 2015 International Conference on The Theory of Information Retrieval*. ACM, 2015.

- [13] Kaelbling, Leslie Pack, Michael L. Littman, and Anthony R. Cassandra. "Planning and acting in partially observable stochastic domains." *Artificial intelligence* 101.1 (1998): 99-134.
- [14] Lavrenko, Victor, and W. Bruce Croft. "Relevance based language models." *Proceedings of the 24th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. ACM, 2001.
- [15] Jansen, Bernard J., Danielle L. Booth, and Amanda Spink. "Determining the informational, navigational, and transactional intent of Web queries." *Information Processing & Management* 44.3 (2008): 1251-1266.
- [16] Jin, Xiaoran, Marc Sloan, and Jun Wang. "Interactive exploratory search for multi page search results." *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web*. ACM, 2013.
- [17] Yang, Hui, Marc Sloan, and Jun Wang. "Dynamic information retrieval modeling." *Proceedings of the 37th international ACM SIGIR conference on Research & development in information retrieval*. ACM, 2014.
- [18] Tran, Vu T., and Norbert Fuhr. "Markov modeling for user interaction in retrieval." *Clarke et al.*[19] (2013): 13-14.
- [19] Guan, Dongyi, Sicong Zhang, and Hui Yang. "Utilizing query change for session search." *Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. ACM, 2013.
- [20] Zhang, Sicong, Jiyun Luo, and Hui Yang. "A POMDP model for content-free document re-ranking." *Proceedings of the 37th international ACM SIGIR conference on Research & development in information retrieval*. ACM, 2014.
- [21] Luo, Jiyun, Xuchu Dong, and Hui Yang. "Session search by direct policy learning." *Proceedings of the 2015 International Conference on The Theory of Information Retrieval*. ACM, 2015.
- [22] Luo, Jiyun, Sicong Zhang, and Hui Yang. "Win-win search: Dual-agent stochastic game in session search." *Proceedings of the 37th international ACM SIGIR conference on Research & development in information retrieval*. ACM, 2014.
- [23] Foley, Colum, and Alan F. Smeaton. "Division of labour and sharing of knowledge for synchronous collaborative information retrieval." *Information processing & management* 46.6 (2010): 762-772.
- [24] Gonzalez- Ibez, Roberto, and Chirag Shah. "Coagmento: A system for supporting collaborative information seeking." *proceedings of the American Society for Information Science and Technology* 48.1 (2011): 1-4.

- [25] Soulier, Laure, Chirag Shah, and Lynda Tamine. "User-driven system-mediated collaborative information retrieval." Proceedings of the 37th international ACM SIGIR conference on Research & development in information retrieval. ACM, 2014.
- [26] Soulier, Laure, Lynda Tamine, and Wahiba Bahsoun. "On domain expertise-based roles in collaborative information retrieval." Information Processing & Management 50.5 (2014): 752-774.
- [27] Shah, Chirag, Jeremy Pickens, and Gene Golovchinsky. "Role-based results redistribution for collaborative information retrieval." Information processing & management 46.6 (2010): 773-781.
- [28] Morris, Meredith Ringel, and Jaime Teevan. "Collaborative web search: Who, what, where, when, and why." Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services 1.1 (2009): 1-99.
- [29] Shah, Chirag. "Working in collaboration-what, why, and how." Proceedings of collaborative information retrieval workshop at CSCW 2010. 2010.
- [30] Yue, Zhen, et al. "Influences on query reformulation in collaborative web search." Computer 47.3 (2014): 46-53.
- [31] Kelly, Ryan, and Stephen Payne. "Division of labour in collaborative information seeking: Current approaches and future directions." The 3rd International Workshop on Collaborative Information Seeking, held at ACM CSCW 2013. University of Bath, 2013.
- [32] Morris, Meredith Ringel. "A survey of collaborative web search practices." Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2008.
- [33] Ellen M. Voorhees. "Overview of the trec 2003 question answering track." In Proceedings of TREC 2003, 2004.
- [34] Javed Aslam, Fernando Diaz, Matthew Ekstrand-Abueg, Virgi Pavlu, and Tetsuya Sakai. "Trec 2013 temporal summarization." In Proceedings of TREC 2013, 2014.
- [35] Shah, Chirag, and Roberto Gonzalez-Ibez. "Exploring information seeking processes in collaborative search tasks." Proceedings of the American Society for Information Science and Technology 47.1 (2010): 1-7.
- [36] Shah, Chirag, and Gary Marchionini. "Awareness in collaborative information seeking." Journal of the American Society for Information Science and Technology 61.10 (2010): 1970-1986.
- [37] Kaelbling, Leslie Pack, Michael L. Littman, and Andrew W. Moore. "Reinforcement learning: A survey." Journal of artificial intelligence research 4 (1996): 237-285.
- [38] Yue, Zhen, and Daqing He. "A Model for Understanding Collaborative Information Behavior in E-Discovery." TREC. 2009.

- [39] Zhai, Chengxiang, and John Lafferty. "A study of smoothing methods for language models applied to ad hoc information retrieval." Proceedings of the 24th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2001.
- [40] Metzler, Donald, and W. Bruce Croft. "Combining the language model and inference network approaches to retrieval." Information processing & management 40.5 (2004): 735-750.