

推薦論文

場所と時間を考慮したユーザの類似性に基づく 多階層位置ネットワークによる 情報交換プラットフォーム

櫻 打 彬 夫^{†1} 大 西 雅 宏^{†1} 高 田 秀 志^{†2}

近年、個人向けの携帯情報端末が普及してきた。これらの端末には、流通させれば他のユーザにとっても有益な情報が蓄えられていると考えられる。しかし、現状ではユーザが能動的に端末を操作し、情報を発信しない限り、その情報が流通することはない。また、情報の流通においては、その情報の伝播範囲が重要な意味を持つ。したがって、携帯情報端末が自立的にその端末に蓄えられている情報を流通させるとともに、その情報の伝播範囲を制御することによって、時間や場所をともにしていなくても、類似したユーザ間での情報交換が行われるようにすることが求められる。本論文では、情報の伝播範囲を制御するために、情報交換が行われる場所の関係を階層化および組織化した多階層位置ネットワークによる情報交換プラットフォームを提案する。情報交換プラットフォームを用いることで、昨今普及している同じ場所を訪れたユーザ同士の情報交換の促進や情報の伝播範囲を制限した情報交換、特定の地域に対する情報配信などが容易に行えるようになる。また、情報交換プラットフォームの有効性を検証するために、多階層位置ネットワークによる情報交換手法と、情報交換をするユーザ間の時間的距離、地理的距離の解消に焦点を当てたシミュレーションを行った。その結果、これらの距離を解消することが可能で、また、情報交換プラットフォームにおけるユーザ履歴の置換回数、置換比率、置換順序といったパラメータにより、その制御が可能であることが分かった。

An Information Exchange Platform by Utilizing the Overlay Location Network Based on User Similarity Considering on Place and Time

YOSHIO SAKURAUCHI,^{†1} MASAHIRO OHNISHI^{†1}
and HIDEYUKI TAKADA^{†2}

In recent years, handheld terminals like a mobile phone became widely used. Such terminals may store useful information for other users. However, information never circulates without users operations and propagation area is important to the distribution of information. Therefore it is required that handheld terminals circulate stored information autonomously among similar users wherever and whenever they visited with controlling the extent of information distribution. In this paper, we propose an information exchange network by the overlay location network which organizes places into hierarchies. The network enables to regulate extent of the information distribution, distribute information to certain area and create more opportunity of information exchange. Simulation results are also shown focusing on the elimination of time distance and geographical distance. According to the results, these two types of distance can be eliminated and the extent is controllable by parameters such as the numbers of replacement, the ratio of replacement and the order of replacement of the user records.

1. はじめに

近年、個人向けの携帯情報端末が普及してきた。これらの端末には、Webのブックマークや電子メールの送受信履歴、メモやスケジュールといった情報が蓄えられている。さらに、「ToruCa」¹⁾や「au ケータイクーポン」²⁾などのように、Webや店頭でのRFID R/W、友人からの電子メール、赤外線通信を介して取得した、フライヤやクーポンなどの情報も蓄えられるようになった。一方で、これらの情報の流通という側面に目を向けてみると、携帯

^{†1} 立命館大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

^{†2} 立命館大学情報理工学部
Department of Computer Science, Ritsumeikan University

本論文の内容は2008年11月のグループウェアとネットワークサービスワークショップにて報告され、GN研究会主催により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

情報端末に蓄えられているこのような情報は、つねにユーザが送受信を意識して行う必要があり、ユーザが能動的に端末を操作し、情報を発信しない限り流通することはない。しかし、ユーザによって発信されなかった情報の中にも、他のユーザにとって有益な情報があると考えられる。その情報をシステムが自律的に流通させることで、その情報を必要としているユーザに提供することが可能になり、日常生活における偶発的な情報発見の増加が期待される。

また、情報の流通においては、その情報の伝播範囲が重要な意味を持つ。たとえば、流通している情報のコンテンツとしてテレビ放送のニュースを考えてみると、ある地域に住んでいるユーザにとっては、全国放送のニュースもその地域の地方局制作のニュースも同様に重要であるが、他の地域の地方局制作のニュースはあまり重要ではない。すなわち、全国放送のニュースで扱われるような大きな出来事や事件についての情報は、どの地域にその情報が伝播しても有用であるが、地域の地方局制作のニュースで扱われるような局所的な出来事や事件についての情報は、当該地域以外にその情報が伝播してもあまり有用ではない。このように、情報の流通においては、情報の伝播範囲の制御が必要である。

我々は、携帯情報端末が自律的に、閉じ込められた情報を交換することによって、ユーザに偶発的な情報発見の機会を提供する「街角メモリ」³⁾という環境の構築を目指している。「街角メモリ」では、あるユーザ同士が時間と場所を共有していると、そのユーザ同士は類似性を持っていると見なしている⁴⁾。この類似性に従ってユーザクラスタを構成し、そのユーザクラスタに対して協調フィルタリングを適用するなどして、クラスタに属しているユーザの間で受動的に情報交換が行われる。すなわち、このような情報交換において、情報の伝播範囲は、ユーザ同士の類似性に基づくユーザクラスタの構成方法に依存する。

本論文では、ユーザクラスタを動的に変化させることによって、「街角メモリ」における情報の伝播範囲の制御を実現する、多階層位置ネットワークによる情報交換プラットフォームを提案する。この情報交換プラットフォームでは、ユーザクラスタの時間的側面を制御するために、携帯情報端末間の通信は、一時通信型ではなく永続通信型の通信形態をとる。また、ユーザクラスタの地理的側面を制御するために、場所の階層化と組織化を行った多階層位置ネットワークを構築する。この多階層位置ネットワークによって結ばれた、それぞれの場所を訪れたユーザの間で受動的に情報交換が行われる。これにより、昨今普及している同じ場所を訪れたユーザ同士の情報交換の促進、情報の伝播範囲を制限した情報交換、さらに、特定の地域に対する情報配信などが容易に行えるようになる。

以下、2章では、関連研究と情報交換プラットフォームで対象としている P2P (Person-

to-Person) 情報交換の特徴について述べる。3章では、情報交換プラットフォームで提案する P2P 情報交換の 3 層モデル、場所とその属性によるユーザの類似度の相関について述べた後、多階層位置ネットワークの説明と情報の伝搬範囲の制御について述べる。4章では、全国の郵便局を訪れる人の中での情報交換に情報交換プラットフォームを適用した場合を考え、情報交換が起こったユーザ同士の時間的距離、地理的距離を計測したシミュレーションとその結果について述べる。5章では、鉄道の駅を対象に、解消される地理的距離を詳細に計測したシミュレーションとその結果について述べる。6章では、シミュレーション結果や情報交換プラットフォームについての議論を行う。7章では、まとめと今後の展望について述べる。

2. 場所と情報交換

2.1 関連研究

これまで、ユーザの位置情報を利用した多くの情報交換（あるいはコミュニケーション）システムが提案され、運用がなされてきた。それらのシステムは、以下の 3 つの観点から比較することができる。

(1) 場所の局所性

場所の局所性とは、システムが対象とする情報交換が行われる場所どうしの関係の強さである。すなわち、特定の場所にいるユーザの間だけで情報交換が行われるのか、遠隔地の他の場所にいるユーザとも情報交換が行われるのかということである。

(2) 通信の永続性

通信の永続性とは、情報交換が、ユーザがその場を訪れたときにだけ、その場にいる他のユーザと行われる一時的なものか、訪れてから時間が経過しても、その場所を訪れた他のユーザと行われる永続的なものかということである。

(3) 情報交換の能動性

情報交換の能動性とは、ユーザの行う情報交換が能動的なものか受動的なものかということである。たとえば、インターネット検索は能動的であるが、携帯電話の着信や携帯メールの受信は受動的である。

iCAMS⁵⁾ は、ユーザの位置情報とスケジュール情報を用いた携帯情報端末向けのコミュニケーションツールである。iCAMS では、そのときのユーザの通信コンテキスト（位置、スケジュール、利用可能な通信手段）に応じて、職場の電話、携帯電話、職場のメールなど、そのユーザに対する適切なコミュニケーション手段を提示する。また、独自のショートメッ

サービスも提供している。iCAMS には場所の局所性がなく、遠隔地にいる他のユーザとも情報交換が可能である。また、永続通信型であり、コミュニティ内であれば誰でも情報交換ができる。ただし、これは実在するコミュニティを対象としたものであり、コミュニティに属していないユーザと情報交換をすることはできない。情報交換の能動性は、通信手段に依存する。

Alipes⁶⁾ は、ユーザの位置情報を用いるモバイルアプリケーションのためのアーキテクチャである。Alipes では、公開する位置情報を選定するプライバシー/セキュリティハンドラ、ユーザの位置情報を取得するポジショニングプラットフォーム、地図や周辺情報を取得するマップサービス、WWW や XML データベースから情報を取得するサービスインフォメーションベースの 4 つのセクションが並列に定義されている。アプリケーションは、これらのセクション上に構築される。サンプルアプリケーションとして、自分と他のユーザとの位置関係を地図上に示す FriendFinder、特定の場所に付箋を残し、他のユーザと共有できる GeoNotes がある。提供されるアーキテクチャだけでアプリケーションを構築した場合、場所の局所性は強く、一時通信型になる。また、情報交換の能動性は、開発するアプリケーションに依存する。

Kontti⁷⁾ は、ユーザコンテキストを利用し、ユーザが相互にメッセージをやりとりするサービスである。たとえば、あるユーザが特定の場所にメッセージを残し、他のユーザがその場所を訪れることでメッセージを読むことができる。また、特定のコンテキストにあてはまるユーザだけにメッセージを残すことも可能である。Kontti は、永続通信型であるが、場所の局所性が強い。さらに、情報交換は能動的に行われなければならない。

また、現在の日本において、ユーザの場所に着眼した情報配信サービスに「キセキ」⁸⁾ や「PiTaPa goopas」⁹⁾ などがある。「キセキ」は、GPS 搭載の携帯電話を用いて、特定の場所に対して日記を書いたり、その日の行動履歴に基づいておすすめ情報を配信したりするサービスである。「PiTaPa goopas」は、PiTaPa と呼ばれる IC カードを駅の改札機にタッチすることにより、事前に登録した携帯電話に情報がメールで配信されるサービスである。いずれも、場所の局所性が強いといえる。通信の永続性では、キセキは永続通信型、PiTaPa goopas は一時通信型である。情報交換の能動性では、キセキは能動的、PiTaPa goopas は受動的である。ただし、配信される情報はコンテンツプロバイダが提供した画一的なものであり、ユーザとコンテンツプロバイダ間あるいはユーザ間の情報交換が行われるものではない。

これらに対して、本論文で提案する情報交換プラットフォームのような、ユーザ同士の情

報交換に主眼をおき、場所の局所性は適度に広域であり、永続通信型の受動的情報交換についての研究はなされてこなかった。本論文では、このような特徴を持つ情報交換プラットフォームについて検討し、その有効性をシミュレーションにより確認する。

2.2 P2P (Person-to-Person) の情報交換

P2P の情報交換は、直接対話や電話、電子メールなどを用いて行われる。その特徴として、利用者は、情報の発信者でもあり、受信者でもあることがあげられる。また、ユーザが相互に情報は交換するが、交換する情報のトピックは必ずしも同一ではない。この P2P による情報交換は、インターネット検索などに比べ、相互に有益だと思ふ情報を交換するという点において、情報の交換・発見に適したモデルであるといえる。

特に、偶発的情報発見に着目した場合、知人からもたらされる情報のほかに、第三者からもたらされる情報も重要になる。第三者のユーザから情報を得るためには、少なくともある場所ですそのユーザと出会う必要がある。しかし、図 1 のようなユーザと時間や場所との関係を考えてみると、ユーザ A とユーザ B は同じ場所を訪れているが時間が異なるため出会うことがない。また、ユーザ C はユーザ A およびユーザ B と同じ時間にある場所を訪れているが場所が異なるため出会うことがない。このように、時間的距離、地理的距離に阻まれて情報交換が行われないケースが考えられる。

したがって、以上のようなユーザ同士の距離を解消し、情報交換が行われるようにすることが望まれる。ここで、距離を解消するとは、時間的距離、地理的距離に隔てられたユーザ間で情報交換が行えるようにすることを表す。たとえば、「30 km の地理的距離を解消し

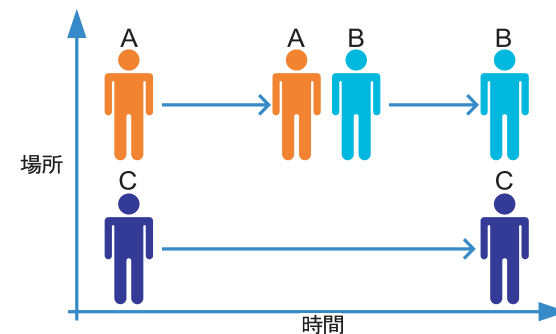


図 1 ユーザ同士の隔たり
Fig. 1 Distance between users.

た」とは、通常は出会わない 30 km 離れたユーザと P2P の情報交換が行えたことを指す。また、「1 時間の時間的距離を解消した」とは、通常は出会わない 1 時間前（あるいは 1 時間後）に同じ場所を訪れたユーザと P2P の情報交換が行えたことを指す。しかし、情報の流通という側面から見れば、すべてのユーザ間の距離を完全に解消すると、その情報が伝搬しても有用でない地域にまで情報が伝搬してしまうため、距離の解消は適度に制御することが必要とされる。

3. 情報交換プラットフォーム

前章で述べた情報交換の特徴をふまえ、P2P を対象とした情報交換プラットフォームを提案する。まず、提案手法の位置づけと根拠を述べ、次にこの情報交換プラットフォームを実現するための多階層位置ネットワークと情報の伝搬範囲の制御について説明する。

3.1 P2P 情報交換の 3 層モデル

本研究では、P2P の情報交換を図 2 に示す 3 層モデルで表現する。端末層には、携帯電話や PDA といった携帯情報端末が属し、要素技術として GPS や RFID などがある。また、ネットワーク層には、Ad-hoc や Peer-to-Peer といったネットワーク形態が属し、実際のネットワークとして Bluetooth や Wi-Fi などがある。さらに、コンテンツ層には、GUI といったインターフェースが属し、そのインターフェースにより提供されるコンテンツとしてブックマークやスケジュールなどがある。利用者は、端末層の端末によって、ネットワーク層のネットワークでつながった相手と、コンテンツ層のコンテンツの情報交換を行う。

提案する情報交換プラットフォームは、時間的距離、地理的距離を解消したネットワーク

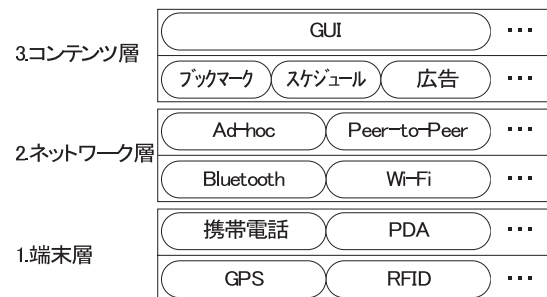


図 2 P2P 情報交換の 3 層モデル

Fig. 2 The three-layer model for P2P information exchange.

を提供するため、ネットワーク層に属することになる。

3.2 ユーザの類似度

情報交換プラットフォームでは、ユーザの位置情報としての場所に注目している。場所には、「映画館」や「レストラン」など、その場所の性質を示す属性がある。そして、同じ属性を持つ場所は類似しており、同じ属性の別の場所を訪れるユーザ同士も類似していると考えられる。さらに、時間的距離を考慮すると、同じ時間に当該の場所を訪れたユーザの方が、異なる時間に訪れたユーザよりも自分と類似していると考えられる。地理的距離についても、同様のことがいえる。これにより、属性が同じ場所を、ある時間帯に訪れたユーザ同士は類似性を持つと見なし、時間的距離、地理的距離の制御を行う。

3.3 多階層位置ネットワークの構成要素

情報交換プラットフォームで用いる多階層位置ネットワークは、以下の構成要素によって形成される。

まず、属性が同じ場所の集合を、

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\} \quad (1)$$

1 度でも場所 $\forall p \in P$ を訪れたことのあるユーザの集合を、

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (2)$$

と定義する。また、ユーザ $u \in U$ は、訪れた場所 p と訪れた時刻 t の組の集合

$$record(u) = \{(p, t)\} \quad (3)$$

を持つものとする。さらに、現在時刻を t_c とする。なお、時刻 t は微小時間 δ によって、 $[t, t + \delta)$ と定義される時区間であるが、ここでは単に t と表記する。

そして、場所 p を時刻 t に訪れたユーザ u の集合として「局所クラスタ $L_{p,t}$ 」を定義する。

$$L_{p,t} = \{u \mid u \in U, (p, t) \in record(u)\} \quad (4)$$

局所クラスタに属するユーザ同士は、同じ時間と場所を共有しており、類似性が高い。また、同じ場所 p の局所クラスタ $L_{p,t}$ を、現在時刻 t_c から単位時間 t_u だけ遡って集めたものを「ノード N_p 」と定義する。

$$N_p = \bigcup_{t=t_c-t_u}^{t_c} L_{p,t} = \{u \mid u \in U, (p, t) \in record(u), t \in [t_c - t_u, t_c]\} \quad (5)$$

1 つ 1 つの局所クラスタは、ある時刻にその場所を訪れたユーザの記録である。そのため、ノードはその場所をどのユーザが訪れたかの履歴（以後、「ユーザ履歴」と呼ぶ）を単位時間だけとっていることになる。すなわち、ユーザ履歴に記録されたユーザ同士は、同じ

時区間に、同じ属性の同じ場所を訪れたことになる。よって、このユーザ履歴内のユーザ同士で情報交換をすることで、同じ時区間に、同じ属性の同じ場所を訪れたという類似性の下で、最大で単位時間の長さだけ時間的距離が解消される。

さらに、全ノード N_p の集合を「クラスタ C 」と定義する。

$$C = \bigcup_{p=1}^m N_p = \{u \mid u \in U, (p, t) \in \text{record}(u), p \in P, t \in [t_c - t_u, t_c]\} \quad (6)$$

クラスタに属する全ノードのユーザ履歴に記録されたユーザ同士は、同じ時区間に、同じ属性の場所を訪れたという類似性を持つ。この類似性の下で、ユーザ間の地理的距離を解消するために、クラスタ内のノード間でユーザ履歴に記録されたユーザを互いに置換する。これによって、ユーザ履歴の置換が起こったノードに対応する場所の間の距離だけ地理的距離が解消される。

図 3 に、多階層位置ネットワークにおけるユーザ間の情報交換とノード間のユーザ履歴置換の概念図を示す。まず、場所 p_x, p_y において、現在時刻 t_c と単位時間 t_u によって局所クラスタが集められ、それぞれノード N_{p_x}, N_{p_y} が定義される。ここで、ノード N_{p_x} にはユーザ u_{x1} とユーザ u_{x2} 、ノード N_{p_y} にはユーザ u_{y1} とユーザ u_{y2} が属しているとする。ユーザ間の情報交換は、ユーザ u_{x1} とユーザ u_{x2} 、ユーザ u_{y1} とユーザ u_{y2} のように、同じノードに属しているユーザ間でされる。また、ノード間のユーザ履歴置換では、ノード N_{p_x} のユーザ u_{x2} がノード N_{p_y} へ、ノード N_{p_y} のユーザ u_{y1} がノード N_{p_x} へ、それぞれ移動するように、ノード間でそのノードのユーザ履歴に記録されているユーザが置換される。

3.4 多階層位置ネットワークの階層化と組織化

クラスタに属するノードが多い場合には、1つ1つのノードが全ノードとユーザ履歴の置換を行うのは効率的ではない。そこで、図 4 に示すようなクラスタの階層化と組織化を行い、ノードはノード間リンクによってユーザ履歴を置換するものとする。さらに、ユーザ同士が近い場所を訪れるという類似性を保ちながらユーザ履歴の置換を行うために、ノードは地理的に近いノードとリンクによってつながれ組織化される。また、地理的に離れたノード間でのユーザ履歴の置換が起こるように、クラスタの階層化を考える。

階層化と組織化の手順は、以下のとおりである。

1. 適用対象に応じて地理的距離の単位を定義する。また、階層数を決定する。
2. ノード間でリンクを張るための組織化の指標を、適用対象に応じて決定する。
3. 最下層から最上層に向かって、3-1、3-2 を繰り返す。ただし、全ノードは最下層に属す

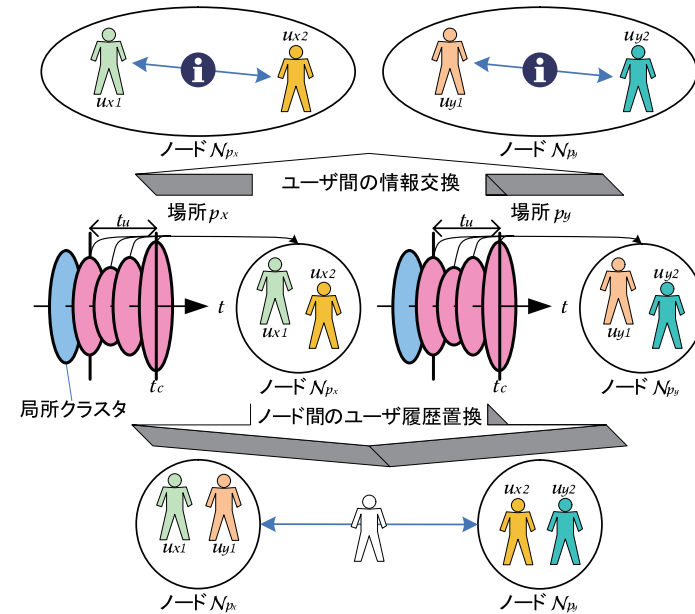


図 3 ユーザ間の情報交換とノード間のユーザ履歴置換

Fig. 3 Information exchange between users and user records replacement between nodes.

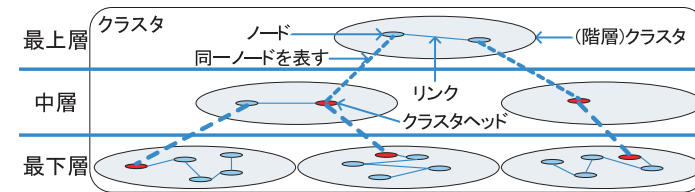


図 4 3 階層の多階層位置ネットワーク

Fig. 4 The three-layer overlay location network.

るものとする。

- 3-1. 階層内で組織化の指標に応じたリンクを形成する。
- 3-2. 階層内でクラスタヘッドを選出し、上位層を構成するノードとする。

3.5 P2P 情報交換と情報の伝播範囲

情報交換プラットフォームでは、そのノードに属するユーザ同士で P2P の情報交換が行われる。つまり、ユーザ履歴をノード間で置換することは、そのユーザが置換された先のノードに相当する場所を仮想的に訪れたことを意味し、ユーザ履歴の置換が行われたノードに対応する場所の間の距離だけ地理的距離が解消されることを意味する。さらに、ユーザが置換された先のノードで情報交換を行うことにより、最大でノードを定義する単位時間だけ時間的距離が解消される。

多階層位置ネットワークにおいて、各ノード間でどの程度ユーザ履歴が置換されるかは、以下の 3 つのパラメータによって制御され、情報の伝播範囲が制御される。

置換回数

置換回数とは、ノードを定義する単位時間に対して行われる、単位時間あたりのノード間のユーザ履歴の置換回数である。置換回数は、ユーザがもついたノードから、どれだけ離れたノードへ到達できるかを制御することになる。たとえば、ユーザ履歴の置換が 50 回行われると、ユーザは最大で 50 ホップ離れたノードへ到達する。

置換比率

置換比率とは、ユーザ履歴を置換するノード同士が、どれだけユーザ履歴を置換するかの比率である。この置換比率は、ユーザ履歴の置換を行うノードのペアのうち、ユーザ履歴数が少ない方のノードの全ユーザ履歴数を基準にし、0-100%の値をとる。これは、ノードが保持するユーザ履歴の数を変化させないためである。置換比率は、どれだけユーザをノード間で移動させるかを制御することになる。

置換順序

置換順序とは、どの階層からユーザ履歴の置換を行うか、また、階層内においては、どのノード間からユーザ履歴の置換を行うかの順番である。置換順序は、ユーザ履歴の置換を行う際、上位層で長距離を移動させてから下位層で短距離を移動させるなど、ユーザが仮想的に移動する経路を制御することになる。たとえば、リスト構造のリンクで組織化されたクラスタであれば、トップダウンやボトムアップ、ランダムなどが考えられる。

また、ノード間でユーザ履歴を置換する方法以外に、ノード間でユーザ履歴を共有する方法も考えられる。しかし、この方法では、ユーザが置換された先のノードに相当する場所を仮想的に訪れたという状況を表現することができない。また、ユーザ間の情報交換は促進されるが、交換される情報の伝播範囲の制御が困難になる。なぜなら、複数のノードでユーザ履歴を共有することは、ユーザが同じ時間に複数の場所に存在することを意味し、この

ユーザを介しての情報交換はさらに情報の伝播範囲を広げることになるためである。たとえば、ユーザ x のユーザ履歴を共有しているノード N_a, N_b があるとし、それぞれのユーザ履歴に記録されているユーザ u_a, u_b の間で、ユーザ x を介して情報が伝播したとする。この場合、不確定なノード N_a, N_b 間の距離だけ、さらに情報の伝播範囲が伸びることになる。この不確定さは、ユーザ x のユーザ履歴を共有しているノード数が増えるにつれて増す。ここで、ユーザ履歴の置換であれば、たとえユーザ x を介して情報交換が起こったとしても、情報の伝播範囲はユーザ x のユーザ履歴置換を制御することによって制御できる。

4. シミュレーション 1

全国の郵便局を訪れるユーザ間での情報交換に本情報交換プラットフォームを適用した場合を考え、置換回数、置換比率、置換順序の各パラメータを変化させることにより、解消される時間的距離、地理的距離がどのように変化するかを調べる。

4.1 概要

場所集合 P (式 (1)) を「郵便局」という属性を持つ、全国の郵便局 19,603 局とする。さらに、各郵便局のユーザ数は、各都道府県の人口を当該郵便局数で割り、その 20% を標準偏差とした正規分布により無作為に決定する。ただし、その全員が郵便局に行くとは考えにくいので、当該人数の 1/100 をユーザ数とする。その結果、ユーザ集合 U (式 (1)) のユーザ数は全国で計 1,268,551 人となる。また、現在時刻 t_c は任意の時刻、単位時間 t_u は 1 時間とし、ユーザが郵便局を訪れる $record(u)$ (式 (3)) の時刻 t は、ユーザが 0-59 分 ($\delta = 1$ 分の粒度) の一様分布で到着するものとして決定する。これによって、 $L_{p,t}$ (式 (4))、 N_p (式 (5)) および C (式 (6)) が、それぞれ定義される。

地理的距離の単位は、正距円筒図法において緯度・経度から計算される「km」とする(ただし、現実の地球上での距離とは誤差が存在する)。なお、地理的距離の計算に用いる各郵便局の緯度・経度の取得には、東京大学空間情報科学研究センターの CSV アドレスマッチングサービス¹⁰⁾を利用する。

次に、多階層位置ネットワークの階層数は 3 とし、最下層に「市区町村内」、中層に「都道府県内」、最上層に「全国」をそれぞれ割り振る。階層内でのノード間のリンクはリスト構造とし、組織化の指標として単位時間あたりのユーザ数を使用する。単位時間あたりのユーザ数が多いノードが先頭、少ないノードが末尾にくるものとし、先頭のノードをクラスタヘッドとする。情報交換では、各ノードから 2 ユーザずつ無作為抽出を行い、抽出されたユーザ間で情報交換が行われるものとする。

ユーザ履歴の置換順序としては、トップダウンとボトムアップが考えられる。トップダウンでは、最上層から最下層へ、階層内ではリストの先頭から末尾へ向かって順にユーザ履歴の置換を行う。ボトムアップでは、最下層から最上層へ、階層内ではリストの末尾から先頭へ向かって順にユーザ履歴の置換を行う。ここで、置換順序の違いにより解消される時間的距離、地理的距離がどのように変化するかを調べるために、置換順序の組合せを考える。その最小の組合せとして、

- トップダウン-トップダウン (以降、「TT」と呼ぶ)
- トップダウン-ボトムアップ (以降、「TB」と呼ぶ)
- ボトムアップ-トップダウン (以降、「BT」と呼ぶ)
- ボトムアップ-ボトムアップ (以降、「BB」と呼ぶ)

の4通りが考えられる。たとえば、TBであれば、トップダウンで置換をした後、ボトムアップで置換を行う。また、履歴の置換順序をランダムにしたもの

- ランダム-ランダム (以降、「RD」と呼ぶ)

が考えられる。いずれの場合も、置換するユーザ履歴中のユーザは無作為抽出によるものとする。置換回数については、上記の5つの置換順序の組合せをそれぞれを1回とカウントし、0-100回まで1回ずつ変化させる。置換比率については、0-100%まで1%ずつ変化させる。

4.2 結果と考察

情報交換が起こったユーザ同士の時間的距離、地理的距離の平均を、置換順序のそれぞれの組合せについて調べた。

まず、時間的距離については、置換回数や置換比率、置換順序による優位な差は認められなかった。この結果は、解消される時間的距離が置換回数や置換比率、置換順序に非依存であることを示している。また、いずれの結果も、約20分前後に分布している。これは、設定した単位時間である1時間の間に、ユーザが一様分布で到着するという設定の下、情報交換をさせるユーザペアを無作為に抽出したため、各ユーザの間の到着時間の差の期待値と一致している。もし、ユーザの到着時間を考慮して情報交換をさせるユーザペアを抽出すれば、解消される時間的距離を制御することができる。

次に、置換回数と解消される地理的距離の関係を図5に示す。置換順序によらず、いずれも単調増加であることが分かる。すなわち、解消される地理的距離は、置換回数を制御することにより制御できる。また、今回のサンプルデータでは、図の範囲外であるが、置換回数を増やしていくと約461 kmに収束する。これは、無作為抽出によって解消される地理的

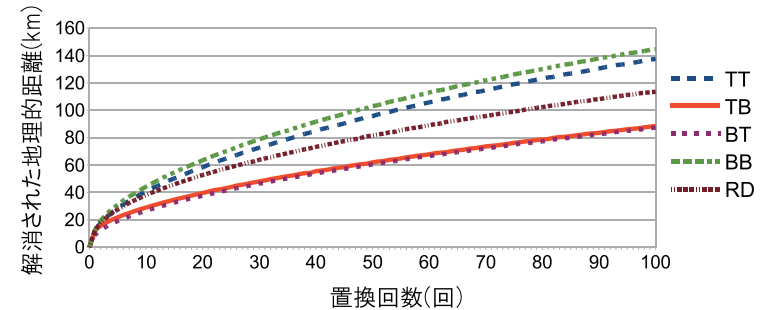


図5 置換回数と解消された地理的距離の関係

Fig. 5 Relation between the number of replacement and eliminated geographical distance.

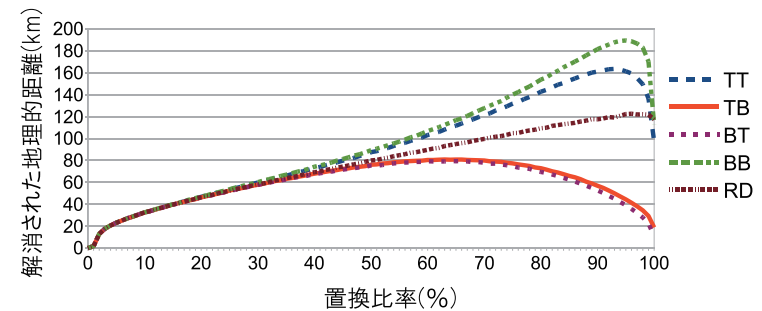


図6 置換比率と解消された地理的距離の関係

Fig. 6 Relation between replacement ratio and eliminated geographical distance.

距離には限界があることを示している。そのため、さらに解消される地理的距離を伸ばす必要がある場合には、置換するユーザ履歴中のユーザの抽出法を考慮しなければならない。

最後に、置換比率と地理的距離の関係を図6に示す。置換順序によってばらつきはあるが、いずれにも極大点が見られる。すなわち、置換比率を増やすと、必ずしも解消される地理的距離が伸びるわけではなく、ある比率を超えると逆に解消される地理的距離が短くなる。これは、極端に多くの割合のユーザ履歴を置換してしまうと、置換先のノードで、元々は同じノードに属していたユーザ同士で情報交換が起こる確率が高くなるためであると考えられる。また、TB、BTの極大点が63%付近になっていることについては、トップダウンとボトムアップでユーザ履歴の置換を行っているため、多階層位置ネットワークにおいて

1度下位層から上位層へ行ったユーザが再び下位層に戻されたり、また、その逆が頻繁に起こったりするためであると考えられる。

このシミュレーションから、ユーザが一様分布で到着し、情報交換をさせるユーザペアを無作為に抽出する場合には、解消される時間的距離は設定する単位時間にのみ依存することが分かった。さらに、解消される地理的距離は収束すること、ユーザ数が正規分布に従う場合には、置換比率の増加による解消される地理的距離の増加は単調増加ではなく、極大点が見られることが分かった。

5. シミュレーション 2

次に、鉄道の駅を対象に、解消される地理的距離の変化に焦点を当て、平均して5駅離れたユーザ同士で情報交換をさせたい場合に、置換順序を固定し、置換回数と置換比率がどのような影響を与えるかについてシミュレーションを行う。

5.1 概要

場所集合 P (式 (1)) を「駅」という属性を持つ、京阪電気鉄道株式会社の京阪本線(淀屋橋駅から出町柳駅の間を走る線分路線)の全駅とする。また、単位時間 t_u は1日とし、各駅のユーザ数をその駅で降りる乗客¹¹⁾の10%とする。すると、ユーザ集合 U (式 (1))のユーザ数は計9,211人となる。さらに、今回は時間的距離を考慮しないため、現在時刻 t_c とユーザが駅を訪れる $record(u)$ (式 (3))の時刻 t は考慮しない。これによって、 $L_{p,t}$ (式 (4))、 N_p (式 (5)) および C (式 (6)) が、それぞれ定義される。

地理的距離の単位は、駅と駅が何駅離れているかの「駅」とする。

次に、多階層位置ネットワークの階層数は3とし、最下層に「普通停車駅」、中層に「急行停車駅」、最上層に「特急停車駅」をそれぞれ割り振る。普通電車は各駅に停車する。急行電車と特急電車については、停車する駅と停車しない駅がある。特急電車が停車する駅には、急行電車も停車する。また、階層内でのノード間のリンクは隣接する停車駅とし、情報交換は各ノード内のユーザ間で総当りで行われるものとする。

ユーザ履歴の置換順序は、最上層から最下層に向かう方向とし、各階層では淀屋橋駅から出町柳駅へ向かう方向で置換を行った後、出町柳駅から淀屋橋駅へ向かう方向で置換を行い、これを1回とカウントする。置換回数については、0-100回まで1回ずつ変化させる。置換比率については、0-100%まで1%ずつ変化させる。

5.2 結果と考察

置換回数と置換比率のそれぞれの組合せについて、情報交換が起こったユーザ同士の地理

的距離を調べた。そして、全ユーザの平均が5駅になったもののうち、置換回数が多く置換比率が小さいケース、置換回数と置換比率が同程度のケース、置換回数が少なく置換比率が大きいケースを抜き出した。その各ケースにおいて、各駅ごとに、その駅を実際に訪れたユーザに対して解消された地理的距離の平均と最大を調べたものを、それぞれ図7、図8に示す。

まず、各ケースを通して、平均については駅ごとにばらつきが見られ、解消された地理的距離が5駅を下回っている駅が多いことから、ユーザ数が多く平均の高い一部の駅が全体の平均を牽引していることが分かる。また、路線の両端付近の駅は低く、中央の駅では高くなっていることが分かる。

次に、各ケース間の違いについて、置換比率と置換回数がそれぞれ1%-66回の場合よりも、53%-1回の場合の方が、特急停車駅、急行停車駅での解消される地理的距離の平均、最

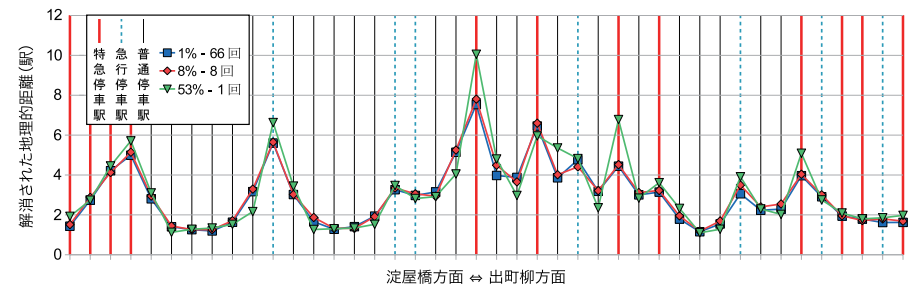


図7 解消された地理的距離-平均
Fig. 7 Eliminated geographical distance - Median.

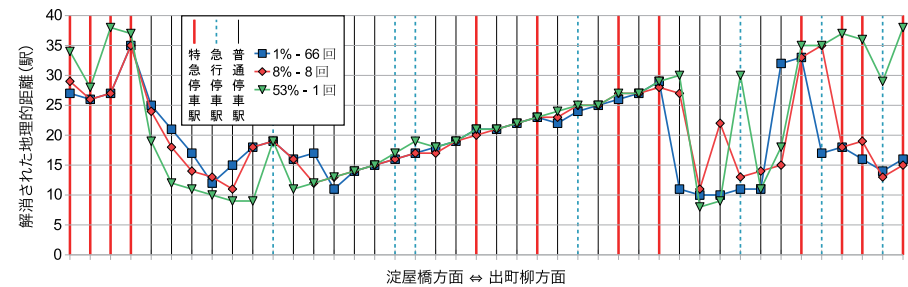


図8 解消された地理的距離-最大
Fig. 8 Eliminated geographical distance - Maximum.

大が上がる傾向にある。これは、特急停車駅、急行停車駅のように間の駅を飛ばす場合には、置換比率の方が情報の伝播範囲に大きく関係することを示している。逆に、普通停車駅のように1駅ずつの場合には、53%-1回よりも1%-66回の方が、平均、最大が上がる傾向にあり、置換回数の方が情報の伝播範囲に大きく関係していることが分かる。

このシミュレーションから、線分路線の場合は、解消される地理的距離の平均が路線の両端では低く、中央では高くなることが分かった。また、情報の伝播範囲について、最上層、中層に属するノードは置換比率、最下層に属するノードは置換回数に大きく影響を受けることが分かった。

6. 議 論

6.1 シミュレーション1について

全国の郵便局を訪れるユーザ間での情報交換を対象としたシミュレーション1では、単位時間を1時間としたことにより、たとえば、午前にお年寄りの間、お昼休みにサラリーマンやOLの間、午後には学生の間など、その時間帯によく利用するユーザ間で情報交換が起きると予想される。

また、特にTB、BTにおいて、自分のノードから隣接ノードに移動しても、次の交換で元のノードに戻ってしまう逆戻りが多く見られた。逆戻りは、同じ場所で時間的距離のみが解消されることを意味する。

さらに、情報の伝播範囲は、ユーザ履歴の置換回数、置換比率、置換順序の各パラメータと解消される地理的距離の関係が明らかになっており、目的によって各パラメータを設定することで制御できる。たとえば、解消されるユーザ間の地理的距離を伸ばしたければ、置換順序をBBとして、置換比率を図6におけるBBの極大点に設定し、解消したい地理的距離に合わせた置換回数を設定すればよい。

6.2 シミュレーション2について

京阪電気鉄道株式会社の京阪本線の各駅を訪れるユーザ間での情報交換を対象としたシミュレーション2では、単位時間を1日としたことにより、たとえば、時間帯にとらわれず、その地域のイベント、地域関連の情報などが様々なユーザ間で交換されると予想される。ここでの地域は、ユーザが降りた駅から平均して5駅離れた範囲を指す。

また、ノードが属する階層によって、置換回数と置換比率のどちらに情報の伝播範囲が左右されるかが分かれた。これは、ユーザが訪れる場所によって、どれだけ地理的に離れた人と情報が交換できるかに差があることを示している。この差を制御するためには、ユーザ履

歴の置換回数と置換比率を、階層ごとに、あるいは交換する相手のノードによって変化させることが考えられる。たとえば、この差を抑制するためには、最上層、中層では置換比率を上げて置換回数を下げ、最下層では置換回数を上げて置換比率を下げるのが有用である。今回の結果では、1%-66回、8%-8回、53%-1回の組合せしか示していないが、目的に応じて、最上層では $r_t\%-n_t$ 回、中層では $r_m\%-n_m$ 回、最下層では $r_b\%-n_b$ 回、などと全体の平均が5駅になる組合せを選べばよい。

ただ、現実世界では人が集まる場所に情報が集まるため、そもそも訪れる場所によって差があってもよいとするのも1つの考え方である。

6.3 情報交換プラットフォームについて

単位時間を短く設定すれば、ある時間にその場所をよく利用する特定のユーザ間で情報交換を起こすことができる。逆に長く設定すれば、時間帯に依存しないより一般的なユーザ間で情報交換を起こすことができる。

また、情報の伝播範囲では、多階層位置ネットワークの階層化と組織化の指標によって、ノードが属する階層ごとに、置換比率と置換回数のどちらに大きく影響を受けるかが異なる。そのため、全体を最適化するのか、特定の階層を最適化するのかによってパラメータの設定が異なってくる。

さらに、今回のシミュレーションでは、情報交換を起こすユーザペアの選出は無作為に行った。しかし、情報交換プラットフォームを運用する側で、任意の選出方法を採用することが可能である。同様に、ノード間で置換するユーザ履歴中のユーザについても、任意の選出を行うことができる。これにより、運用側がユーザ間で交換される情報やその伝播範囲について、より細かな制御が可能になる。

加えて、ユーザ履歴の置換においては、現在のところノードが保持するユーザ履歴数は変化させていない。これは、シミュレーション1の場合など、単位時間あたりのユーザ数を指標としたノード間のリンクは、ユーザ履歴数が変わると再構築しなければならない場合があるためである。したがって、単位時間あたりのユーザ数を指標としない場合には、ユーザ履歴の置換を行うペアのうちユーザ履歴数が多い方のノードのユーザ履歴数を基準にするなど、置換比率の異なる定義も可能である。

また、情報交換プラットフォームでは、1つの場所を1つのノードと対応付けている(式(5))。そのため、各ノードを1つの計算機とした分散計算機環境での実装も可能であり、場所の増減に対しても高い拡張性がある。

7. おわりに

本論文では、時間的距離と地理的距離という2つのユーザ間の距離を制御可能とすることによって、「街角メモリ」における情報の伝播範囲の制御を実現する、多階層位置ネットワークによる情報交換プラットフォームを提案した。

また、情報交換プラットフォームの有効性を検証するために、多階層位置ネットワークによる情報交換手法と、情報交換をするユーザ間の時間的距離、地理的距離の解消に焦点を当てた2つのシミュレーションを行った。その結果、これらの距離がユーザ履歴の置換回数、置換比率、置換順序といったパラメータを変化させることにより制御可能であることが分かった。

今後、異なる階層化や組織化、また、ユーザ間で交換される情報のコンテンツも考慮に入れた情報交換プラットフォームのチューニング法について検討していく予定である。

謝辞 立命館大学情報理工学部情報システム学科教授 島川博光博士、同講師 原田史子博士には、大変多くのご助言・ご支援を賜りました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NTT docomo: ToruCa, NTT docomo (オンライン).
入手先 http://www.nttdocomo.co.jp/service/osaifu_shopping/toruca/ (参照 2009-03-19)
- 2) KDDI: au ケータイクーポン, KDDI (オンライン).
入手先 http://www.au.kddi.com/ez_felica/service/keitai_coupon.html (参照 2009-03-19)
- 3) 伊東寛修, 大西雅宏, 玉井祐輔, 津田 侑, 野口尚吾, 高田秀志: 街角メモリ: 日常生活における協調の情報共有環境, インタラクション 2008, ポスター発表 (2008).
- 4) 大西雅宏, 高田秀志: ユーザの場所に対する局所性を考慮した情報交換手法, 情報処理学会研究報告, 2008-GN-68, Vol.2008, No.48, pp.13-18 (2008).
- 5) Nakanishi, Y., Takahashi, K., Tsuji, T. and Hakozaki, K.: iCAMS: A mobile communication tool using location and schedule information, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.3, No.1, pp.82-88 (2004).
- 6) Nord, J., Synnes, K. and Parnes, P.: An Architecture for Location Aware Applications, *35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'02)*, Vol.9, No.9, pp.293-298 (2002).
- 7) Kolari, J., Laakko, T., Hiltunen T., Ikonen, V., Kulju, M., Suihkonen, R., Toivonen, S. and Virtanen, T.: *Context-Aware Services for Mobile Users - Technol-*

ogy and User Experiences, Technical Research Center of Finland, VTT Publications (2004).

- 8) goo ラボ: キセキ, goo ラボ (オンライン). 入手先 <http://lifelog.machi.goo.ne.jp/> (参照 2009-03-19)
- 9) PiTaPa グーパス株式会社: PiTaPa goopas, 株式会社スルッと KANSAI (オンライン). 入手先 <http://www.surutto.com/about/release/p040727.pdf> (参照 2009-03-19)
- 10) 東京大学空間情報科学研究センター: CSV アドレスマッチングサービス, 東京大学空間情報科学研究センター (オンライン). 入手先 <http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/> (参照 2009-03-19)
- 11) エース総合研究所: 駅別乗降者数総覧, エース総合研究所アミューズメント研究室出版部 (1996).

(平成 21 年 3 月 19 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)

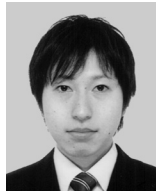
推薦文

本論文は、場所が持つ属性の類似性に着目し、その属性によって場所の階層化と組織化を行った多階層位置ネットワークによる情報交換手法を提案するものである。時間的距離、地理的距離の解消に焦点を当てたシミュレーション結果を示すことにより、本手法が情報の伝播範囲を制限したユーザ間の情報交換や特定の地域に対する情報配信を可能にすることを示している。これは新規性、有用性のいずれにも優れている研究と考えられ、推薦論文に値すると判断した。(グループウェアとネットワークサービス研究会主査 宗森 純)



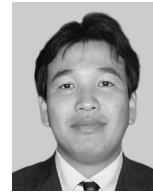
櫻打 彬夫 (学生会員)

1986 年 7 月 29 日生。2009 年 3 月立命館大学情報理工学部情報システム学科卒業。現在、同大学院理工学研究科博士課程前期課程に在学中。分散コンピューティングに関する研究に従事。



大西 雅宏 (学生会員)

1985年12月4日生。2008年3月立命館大学情報理工学部情報システム学科卒業。現在、同大学院理工学研究科博士課程前期課程に在学中。情報共有に関する研究に従事。



高田 秀志 (正会員)

1968年6月26日生。1991年3月京都大学工学部情報工学科卒業。1993年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年4月三菱電機(株)入社。2001年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻博士後期課程修了。2004年1月京都大学情報学研究科研究員。2006年4月立命館大学情報理工学部助教授。2007年4月同准教授。現在に至る。分散システム、協調システム、教育・学習システム等の研究に従事。博士(情報学)。電気学会、システム制御情報学会、ACM、IEEE Computer Society 各会員。