

インタラクションヒストリの要約と閲覧に関する一考察

白井 良成[†] 中小路 久美代^{†‡} 山田 和明[‡]

[†] 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

[‡] 東京大学 先端科学技術研究センター

概要 本研究は、空間的、時間的なユビキタスコンピューティング社会において、多種多様、大量のオブジェクトが個々のインタラクションヒストリを累積した際に、それをどのようにユーザが利用すべきか、それに適した表現系と操作系とはどうあるべきかを考察し、そのためのインタラクションデザインの枠組みを構築しようとするものである。本論では、インタラクションヒストリの要約と閲覧というユーザの行為に着目し、インタラクションヒストリ閲覧目的の taxonomy の構築をおこなう。そして、それぞれの側面に適した時間軸を利用する要約手法とそのための表現手法について考察する。最後に、インタラクションヒストリの可視化手法の一例として、我々が構築してきている Optical Stain システムについて論じる。Optical Stain の利用経験の分析と発展させるべきシステムの側面を省察することにより、本研究の今後の課題と方向性について論じる。

Summarizations and Representations of Interaction Histories

Yoshinari Shirai[†] Kumiyo Nakakoji^{†‡} Kazuaki Yamada[‡]

[†]NTT Communication Science Labs, NTT Corporation

[‡]RCAST, The Univ. of Tokyo

Abstract The goal of our research is to develop an interaction design framework for the use of interaction histories of objects. Ubiquitous computing enables each of a variety of objects (including humans) to keep track of its/his/her interactions with other objects over a very long period of time. Little research has been done in support of how to design representations and operations to use such interaction histories of a large number of heterogeneous objects. This paper focuses on summarization and browsing techniques for interaction histories. We present a taxonomy for interaction history browsing purposes, and discuss what temporal representations would be appropriate for different types of such browsing purposes. We introduce Optical Stain, a system that keeps track of posters on a physical bulletin board and gives visual feedback on the board as trajectories of past posters, to illustrate our point of view.

1 はじめに

大容量記録メディアの出現とセンサ技術の発達に伴い、ユビキタスコンピューティング社会が実現されつつある。ユビキタスコンピューティングは、コンピューティングの空間的な遍在のみでなく、時間的な遍在をも指す。これにより、人間を含めた我々を取り巻くあらゆるオブジェクトの、長期間に渡る作業や活動の履歴を記録することが可能となる。あらゆるオブジェクトに、このような過去のインタラクションの記録が備わることで、そのオブジェクトを取り巻く時間を遡ったり圧縮したりすることができるようになり、そのオブ

ジェクトについてより深く理解することが可能となる。

本研究では、このような、オブジェクトについて長期間に渡って記録された膨大な情報をそのオブジェクトのインタラクションヒストリと呼ぶ。我々の研究の目的は、インタラクションヒストリの利用を考慮した表現化手法を探ることにある。近年、特定の場や特定のユーザの視点で多様なインタラクションを長時間記録する研究が各所でおこなわれ始めている [5, 19]。しかしながらこれらの研究の多くは、データの取得方法や取得したデータの構造化手法に議論の重点が置かれている。これに対し本研究は、多種多様、大量のオブ

ジェクトが個々のインタラクションヒストリを累積した際に、それをどのようにユーザが利用すべきか、それに適した表現系と操作系とはどうあるべきかを考察し、そのためのインタラクションデザインの枠組みを構築しようとするものである。

これを目的として本論では、インタラクションヒストリの要約と閲覧というユーザの行為に着目し、インタラクションヒストリ閲覧目的の taxonomy の構築をおこなう。そして、それぞれの側面に適した要約手法とそのための表現手法について考察する。最後に、インタラクションヒストリの可視化手法の一例として、我々が構築してきている Optical Stain システムについて論じる。Optical Stain は、掲示板への貼り紙という物理的オブジェクトのインタラクションヒストリ（貼られる、はがされる、人に閲覧される、等）を記録し、インタラクションの痕跡として物理的空間に痕跡を投影するシステムである。Optical Stain の利用経験の分析と発展させるべきシステムの側面を省察することにより、本研究の今後の課題と方向性について論じる。

2 インタラクションヒストリ

本研究は、ユビキタス環境において、多種多様、大量の個々のオブジェクトについて長時間に渡り累積されたそのオブジェクトのインタラクションヒストリの利用形態を探るものである。過去の膨大な履歴をうまく利用することで、そのオブジェクトをより深く理解したり、他のオブジェクトとの比較、検索をおこなったりすることに利用できると考えられる。

実際、現実世界において我々は、すでに、様々な形態のインタラクションヒストリを利用して事物や事象の理解をおこなっている。たとえば、いわゆる wear（擦り切れ）と呼ばれる現象を用いて、分厚いマニュアルのどのページがしばしば閲覧されているかを類推することができる。ガーデンパスと呼ばれる、多くの人が繰り返し歩くことで自然についた道筋も、ある種のインタラクションヒストリの表現である。店頭に備え付けられた監視カメラを早送りして閲覧することで、どの時間帯に客の出入りが多いか、などを理解することができる。ソフトウェア開発におけるバージョン管理システムも、各モジュールのインタラクションヒストリを記録したものであるとみなすことができる。ファイルにつけられた修正時刻のタイムスタンプによりファイルを整列させることも、個々のファイルのインタラ

クションヒストリを統合し比較して利用しているとみなすことができる。

このように、物理的な世界で自然に発現しているものから、計算機上で意図的に記録し利用しているもの、ビデオカメラで記録した映像履歴、といったものまでをも含めて、我々はインタラクションヒストリとして捉え、そのための閲覧と要約のための表現系と操作系のあり方を考えることを研究の目的としている。これらのインタラクションヒストリはいずれも、「時間」という軸を共有しているためである。時間には、連続性、方向性（絶対順序関係）、周期性（年、月、週、時刻）、凝縮性（累積）、絶対性（時刻情報）、などといった特徴がある。これらの特徴を考慮しながら、利用形態の特性に応じてヒストリを表現することが必要となる。

来たるユビキタス社会においては、大量のオブジェクトがそれぞれ多様な表現形態でその履歴情報を記録しはじめると考えられる。個々のオブジェクトの特徴や利用のニーズに応じて、個別にその表現系と操作系とを構築していくことは、非常に高いコストがかかる。また、個別にヒストリを捉えてしまうと、時間という共通の軸での統合が可能でありまた必要であるにも関わらず、拡張性を欠いたものになってしまう恐れがある。

我々のアプローチは、このような予測される課題に対し、「時間」軸を共有するインタラクションヒストリを表現するシステムのための汎用的なモデルの構築が可能であるとの前提に立ち、そのような枠組みの構築を目指すものである。すなわち、多種多様、大量のオブジェクトが個々のインタラクションヒストリを累積した際に、それをどのようにユーザが利用すべきか、それに適した表現系と操作系とはどうあるべきかを考察し、そのためのインタラクションデザインの理論的枠組みを構築しようというものである。

2.1 インタラクションヒストリ閲覧目的の Taxonomy

我々が想定しているインタラクションヒストリは、膨大なデータ量を有するものである。それを効率的に処理し格納するための情報技術の必要性は広く共有されていると考えられるが、我々の研究は、そのような技術の存在を前提としている。これを踏まえた上で、利用者が欲するインタラクションヒストリに関する情報を、いかにしてより効果的に利用できるか、ということが、理論的、技術的な課題となる。

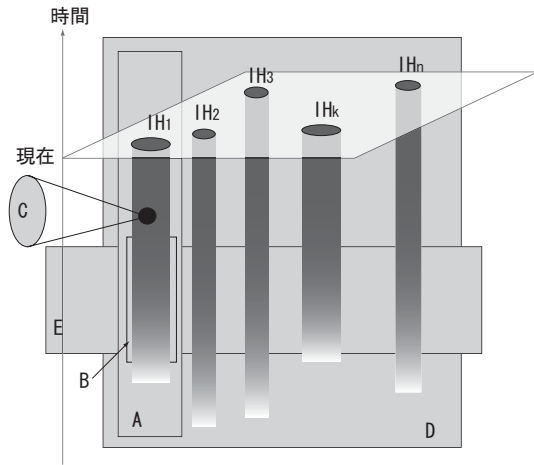


図 1: 時間を用いたインタラクション履歴の比較

本論では、インタラクション履歴の要約と閲覧というユーザの行為に着目している。例えば、20 年間に渡って記録されたビデオデータを、実時間で閲覧するというのは現実的ではない。何らかの要約された表現が必要となる。それに加えて我々は、多数の人間を含めたオブジェクトが、それぞれ多くのインタラクション履歴を累積していることを想定している。従って、個々の履歴を簡便に要約するのみならず、大量のインタラクション履歴を、概観し比較、分析できる必要もあると考えられる。

そのために必要となる要約手法は、どのようにユーザがインタラクション履歴を閲覧したいかに依存する。そこで本論では、インタラクション履歴閲覧目的の taxonomy の構築をおこなった。

ある単体のオブジェクトのインタラクション履歴を閲覧する場合に、その目的は以下の三つに分類できると考えられる:

- (A) 全体の概観 そのオブジェクトのインタラクション履歴の全体を概観し、現在に至る状況を大まかに掴む。
- (B) 部分的閲覧 ある時間幅で区切った時区間内にあるインタラクション履歴を閲覧する。
- (C) 時点による状況抽出 インタラクション履歴内の、ある時点におけるそのオブジェクトの状況を再現する。

これら三つの分類は、時間軸を有するインタラクション履歴を、現在から過去に脈々とつながる半直線とみなし、それを凝縮するか、ある時間幅で区切られた線分として切り出してみるか、ある時刻という点に

おけるオブジェクトの状態を抽出するか、と捉えることができる。前節で利用したインタラクション履歴の事例を用いると、wear やガーデンパスは (A) に、監視カメラである時間帯の人の出入りを見るのが (B) に、バージョン管理システムから、あるバージョンのモジュールを check-out することが (C) に相当する。

図 1 に、これら三つのインタラクション履歴閲覧目的を模式図的に示す。縦棒が、各オブジェクトのそれぞれのインタラクション履歴を表す。現在を上限として、履歴は下方に伸びている。時間は上方に進んでいくものとする。(A) は、棒を上から見た状態、(B) は、棒から円柱を切り出した状態、(C) は、棒の輪切りを取り出した状態、と表せる。

上記三つは、それぞれオブジェクトの単体のインタラクションの閲覧目的を分類したものである。これに加えて、複数のインタラクション履歴の比較を目的とした閲覧がある。オブジェクト間での比較と、時間的關係からの比較、という二種類に分けることができる。

- (D) オブジェクト間の比較 それぞれのオブジェクトのインタラクション履歴同士を比較することで、オブジェクト同士の特徴を比較する。
- (E) 時間的關係からの比較 複数のインタラクション履歴内のインタラクション同士の時間的關係を知る。

なお、(D) および (E) においてインタラクション履歴の比較をおこなう際には、上記の (A)(B)(C) 三種類の表現の仕方がそれぞれ可能であると考えられる。図 1 を用いて説明すると、(D) は、上方から見た場合の、棒(または円柱、輪切り)同士の比較、(E) は、側方から見た場合の、時間的前後關係の比較に相当する。再び事例を用いて説明すると、(D) は、複数の図書館にある書籍を、wear の度合いにより比較し、どの書籍が人気があるかを調べる場合、(E) は、バージョン管理システムにあるモジュール間の更新の依存關係を調べる場合に相当する。

我々は、こういったユーザの閲覧目的に応じて、適切な表現形態が存在すると考えている。また、ある目的をもって閲覧中に別の事柄を知りたくなった場合、それぞれの閲覧状況から別の閲覧目的のための表現形態へとシームレスに移行できることが望ましい。それぞれの閲覧方法で伝えるべき情報がわかりやすく表現されており、また、シームレスな閲覧方法の変更を実現することで、我々は複数のインタラクション履歴

dataA 2003/12/10 (Mon) 13:35:40-14:28:10
 dataB 2001/05/30 (Wed) 08:12:19-08:15:12
 dataC 1997/03/18 (Sun) 09:20:00-13:21:15
 dataD 1999/10/27 (Fri) 18:21:58-19:15:00
 ...

図 2: 記号表現の例

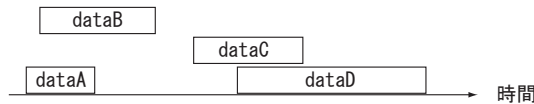


図 3: 軸マッピング方式の例

リの中を「時間を用いて渡り歩きながら」必要な情報を得ることができると考えられる。

3 時間表現の Taxonomy

本章では、前章で分類したインタラクションヒストリの閲覧目的に応じて必要となると考えられる、時間を利用した表現の Taxonomy を説明する。

3.1 時間を伴うデータの要約, 提示, 表現方法の分類

まず、計算機を用いた既存の時間表現についての分類を試みる。最初に、計算機を用いた時間の表現方法を大きく分けて、記号表現、空間マッピング、時間マッピングに分類する。

3.1.1 記号表現

時間をテキスト等の記号で表す方式を記号表現方式と定義する。例えば、ターミナルエミュレータや Dos Window 上ではファイルの更新時間等は通常テキストで表現される (図 2)。

3.1.2 空間マッピング

時間を空間上の何らかの要素に割り当てて表現する方式を空間マッピング方式と定義する。本方式は、さらに空間上の軸に割り当てる方式と、空間中のオブジェクトの視覚的プロパティに割り当てる方式がある。前者を軸マッピング方式、後者をプロパティマッピング方式と呼ぶこととする。

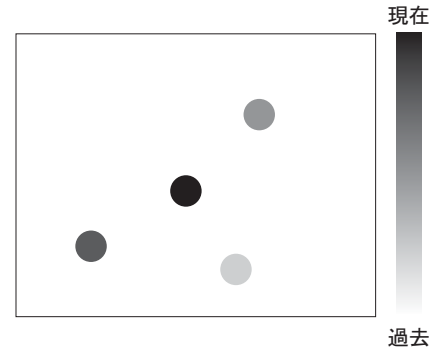


図 4: プロパティマッピング方式の例

軸マッピング方式

軸マッピング方式は、年表や絵巻物などのように空間上のある軸に時間を割り当てる方式である。例えば、図 3 では、画面の横軸に時間を割り当てている。本方式は計算機を用いた情報視覚化の研究においても多数の研究事例がある。

[直線軸上に時間をマッピングする方法]

- 時間によってデータを等間隔に並べる方法

LifeStreams[4] では画面の左上から書類が重ねられていくような表現で右下に向かって各種文書が時系列に提示される。この方法は、相対時間等は伝えることができないが、データの時間的順序を簡潔に伝えることができる。

- 時間を直線軸で表現しデータを配置する方法

Time Machine Computing[15], LifeLines[14], TimeSearcher[8], WEEV[3] 等では、画面の横軸に時間を割り当てた表現が使われている。また、画面の縦や横以外の軸を使ったものとして、Dynamic Timelines[9] や PerspectiveWall[10] のように、ディスプレイ中の擬似 3D 空間内の直線軸に時間を割り当てた事例もある。年輪メタファ[13] では、画面の中心から周縁に向かう方向に時間軸を割り当てている。イベントを等間隔に並べていく方式と異なり、これらの方式では、順序だけでなくデータ間の相対時間も伝えることができる。

[直線ではない軸に対して時間を割り当てる方法]

代表的な表現として、カレンダーを模した表現、および時計を模した表現を用いた提示手法をあげることができる。Time Machine Computing[15], SpiralCalendar[11], DateLens[2] 等では、カレンダー上に情報を配置する表現が用いられている。また、Helix Metaphor[7] では、螺旋状に時間軸を配置すること

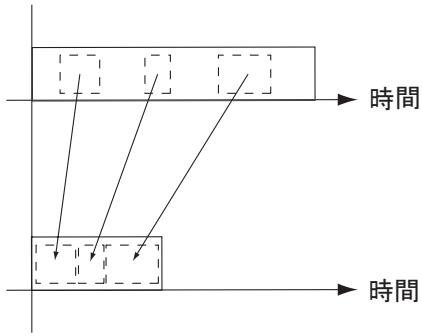


図 5: サンプリング方式の例

を提案している。これは、時計様の円形な軸と直線の軸を組み合わせた表現と言える。これらの表現は、直線的な時間軸と比べ、より周期的な時間の表現を狙ったものとなっている。

プロパティマッピング方式

プロパティマッピング方式は、時間をオブジェクトの色や形等のプロパティにマッピングする方式である。実世界のオブジェクトは、例えば風雨にさらされることで、浸食されて小さくなり形も丸みを帯びてくる。また、日光を浴び続けることで徐々に退色していく。このように実世界では時間経過に伴ってオブジェクトの色や形、大きさ等のプロパティが変化してくるが、計算機上でもこのような表現が使われる場合がある。図 4 は、オブジェクトの濃淡値に時間を割り当てた例である。例えば、Optical Stain[16] では実世界にオーバーレイされたインタラクションの痕跡が時間が経つにつれて徐々に薄くなっていく。オブジェクトの濃さが時間経過に伴って変化するという表現は、Time Machine Computing[15]、ビジュアルチャットシステム Murmur*でも用いられている。一方、Dying Link[21] では、link 先の鮮度によって link 文字が掠れていく。また、SeeSoft[18] のように更新履歴を色に割り当てている視覚化もある。プロパティマッピング方式は、現在や基点となる時刻との相対関係を見るために用いられる事例が多い。

3.1.3 時間マッピング

時間をそのまま時間を用いて表現する方式を時間マッピング方式と定義する。本方式は、サンプリング方式と圧縮方式に分けることができる。

*<http://www.sons.co.jp/Murmur>

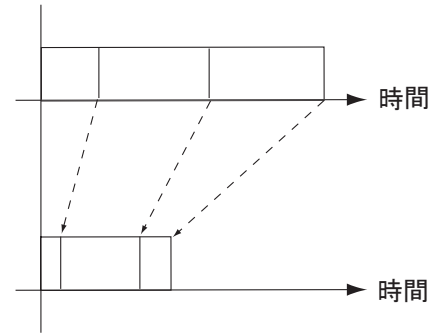


図 6: 圧縮方式の例

サンプリング方式

サンプリング方式は、データ中から適当な部分を何箇所か抽出し、抽出したものをつなぎ合わせることで要約を作成する方式である(図 5)。例えば、Semantic Transcoding[12] では、アノテーションを用いてビデオの映像から重要なシーンを切り出すことで、重要なシーンのみを閲覧することが可能である。また、Hitchcock[6] では、閲覧したい時間長に適したシーンを切り出してみることができる。

圧縮方式

圧縮方式はデータのサンプリングは行わず、再生スピードを早くすることで要約を作成する方式である(図 6)。例えば、単純にビデオを 2 倍速で提示すれば、元の半分の時間で見ることができる。Wright のシステムは、証券市場の変動を 3D アニメーションを用いて提示する[22]。また、高嶋らは再生スピードを自由に变化させることで、時間の大局的な流れと局所的な流れを同時に把握可能な概念: TbVP を提案している[20]。本方式は、データ間の順序関係を伝えることができる。

3.2 要約・提示表現としての比較

上記方式分類を表 1 に示す。記号表現方式は、他の表現に比べ、時刻を正確に伝達することができる。しかし、一瞥性にはすぐれないため、データごとの関係を見るようなタスクには適していない。一方、空間マッピング方式は一瞥性に優れており、データごとの関係をすばやく知ることができる。ただし、データの正確な値の伝達には記号表現ほど適していない。時間マッピング方式は時間を用いてデータを表現するため、データ量の増加に伴う認知負荷の増大が空間マッピング方式より低い。また、実際にイベント自身が費やした時

表 1: 時間表現の Taxonomy

表現形態	提示	例	特徴
記号表現	時間を記号で表現	テキスト	時刻を正確に伝達可能
空間マッピング	軸マッピング方式	LifeLines, Date-Lens, Helix, etc	一瞥性が高い
	プロパティマッピング方式	Dying Link, Optical Stain, etc	
時間マッピング	サンプリング方式	Semantic Transcoding, Hitchcock	内在時間を時間のまま表現, 多量のデータを提示可能
	圧縮方式	TbVP	

間 (個々のデータに内在する時間) をそのまま時間で体感することができる。ただし、その分閲覧に時間がかかるため、一瞥性は空間マッピング方式に劣り、また、データ間の時間的關係はサンプリングやスピードの変化によって歪められており、読み取りが困難である。つまり、3種類の方式はそれぞれ、記号表現は正確性に、空間マッピングは一瞥性に、時間マッピングは認知負荷の低減と内在時間の伝達にそれぞれ優れていると言える。

3.3 閲覧方法に対する適性

本項では、インタラクションヒストリ閲覧目的に適した提示表現について考察する。

- (A) 全体の概観 全体を概観する際には、インタラクションの頻度等の時間的な変動を大まかにつかめることが求められる。空間マッピングは、インタラクションの頻度や時間的な推移をすばやく伝達可能である。時間マッピングは全体の推移をそのまま時間で伝達することができる。一方、記号表現からは、頻度や推移を読み取るのは困難である。
- (B) 部分的閲覧 インタラクションやインタラクション同士の相対的な時間の表現には、空間マッピングが最も適している。特に軸マッピング方式では、直線軸上に時間をマッピングすることで、順序、相対時間、現在との関係、内在時間を表現することができ、また、カレンダーや円形様の軸を用いれば周期的な時間も表現可能である。軸上の要所に絶対

時刻 (記号表現) を提示すれば、インタラクションヒストリの大まかな絶対時刻も伝達可能である。プロパティマッピング方式を用いてもこれらの時間は伝達可能であるがそれぞれのインタラクションは空間内に時間とは無関係に散らばっているため、あるインタラクションの次に起きたインタラクションを探す等は、データの数が増えると困難となる。一方、時間マッピングは、インタラクション同士の相対的な時間關係がサンプリングや圧縮によってゆがめられてしまうため、一部を閲覧する際にはあまり適していない。

- (C) 時点による状況抽出 ある時点におけるオブジェクトの状況を再現する際には、特に要約を行う必要は無く、インタラクションヒストリ内のその時点におけるオブジェクトの状況をそのまま記録された形式で閲覧すればよいと考えられる。記録形式が映像や音声の場合、圧縮方式を用いて、スピードを変化させることにより、インタラクション内の見たい部分を詳細に閲覧することも可能である。
- (D) オブジェクト間の比較 多量のデータ同士を比較する際には、一瞥性にすぐれた空間マッピングが適している。一方、複数のデータの違いを同時に再生された映像から見分けるのは難しく、時間マッピングは比較には適していないと考えられる。オブジェクト同士を比較する場合、軸マッピング方式は、空間の一軸を時間に割り当ててしまっているため、オブジェクト配置の自由度が高く、空間内に配置された多量のオブジェクトを一度に比較

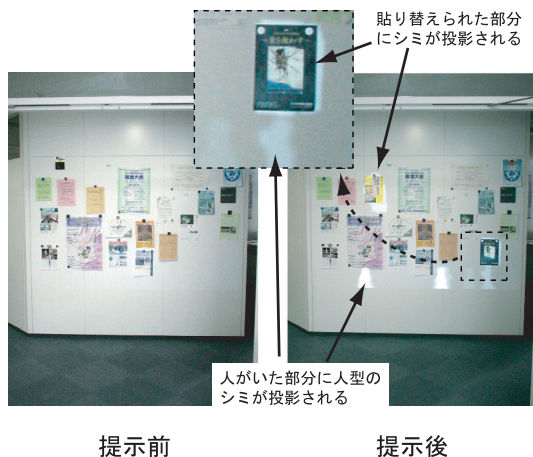


図 7: Optical Stain で提示される痕跡

できるプロパティマッピング方式が最も適していると考えられる。

- (E) 時間的關係からの比較 一方、インタラクションヒストリ内のインタラクションの時間的關係を比較する際には、時区間論理 [1] における 13 種類の時区間關係が表現可能な軸マッピング方式が適していると考えられ、その他の表現では伝達が困難である。

4 Optical Stain

我々は、インタラクションの要約を実環境に残すシステム: Optical Stain を提案している [16]。本章では、Optical Stain におけるインタラクションヒストリの要約と閲覧について考察する。

我々は実際に実世界の掲示板を適用対象として Optical Stain の運用を行っている。システムは、掲示板の前に設置されたカメラを用いて掲示板の前で行われる、貼り替えや立ち止まりといったインタラクションを長時間にわたって記録する。これらのインタラクションは、以下の方法で提示される。

1. インタラクションの要約をインタラクションが行われた場所に痕跡として提示する
2. 提示された痕跡の濃さに現在からの経過時間を割り当てる
3. 時間の経過に伴い痕跡の濃さを徐々に変更する

図 7 のように、掲示物が貼り替えられた場所、人が立ち止まった場所にそれぞれ掲示物型、人型の痕跡が提示され、掲示板の前を通過する人々は痕跡から最近の

掲示板の利用状況を知ることができる。

インタラクションヒストリを要約して提示するシステムとして解釈した場合、Optical Stain は、インタラクションヒストリ閲覧目的の Taxonomy における (D) オブジェクト間の比較に当たる。Optical Stain は、場所の視点でカメラを用いてインタラクションヒストリを記録するが、これは掲示物というオブジェクトのインタラクションヒストリの集合体と捉えることができる。それぞれのインタラクションヒストリは、貼り付け-人の閲覧-取り外しというインタラクションによって構成される。提示方法としては、プロパティマッピング方式が用いられており、要約表現 (痕跡) から掲示物同士の閲覧頻度や貼り替え頻度を比較することができる。

また、我々は、秘映プロジェクタを用いて Optical Stain で投影された痕跡から、詳細情報を得る方法を提案している [17]。痕跡に対し携帯端末を翳すことで、実際にその場にあった掲示物の画像等を見ることが可能であり、本手法は (C) 時点による状況抽出を実現したものと捉えることができる。

5 おわりに

多種多様、大量のオブジェクトが個々のインタラクションヒストリを累積した際に必要なインタラクションデザインの枠組みの構築に向けて、本稿ではインタラクションヒストリの要約と閲覧というユーザの行為に着目し、インタラクションヒストリ閲覧目的の Taxonomy の構築を行なった。また、時間を利用した提示表現の分類を行い、閲覧目的に適した提示表現について考察し、我々が構築してきている Optical Stain における要約・提示表現についての分析を行った。

Optical Stain では、複数のインタラクションヒストリを用いた (D) オブジェクトの比較を可能としているが、比較しているインタラクションヒストリは掲示物の視点で記録されたもののみである。今後、異なる視点で記録されたインタラクションヒストリとの比較も検討したい。さらに、インタラクションヒストリ群の中を「時間を用いて渡り歩きながら」必要な情報を得るために、インタラクションヒストリ閲覧目的の Taxonomy における (A) 全体の概観、(B) 部分的閲覧、(E) 時間的關係からの比較を実現していきたいと考える。

参考文献

- [1] Allen, J. F.: Towards a general theory of action and time, *Artificial Intelligence*, Vol. 23, pp.123-154, 1984.
- [2] Bederson, B. B., Clamage, A., Czerwinski, M. P., Robertson, G. G.: A fisheye calendar interface for PDAs: providing overviews for small displays, *CHI2003 extended abstracts*, pp. 618-619, 2003.
- [3] Chi, E. H., Pitkow, J., Mackinlay, J., Pirolli, P., Gossweiler, R. and Card, S. K.: Visualizing the Evolution of Web Ecologies, *Proc. CHI98*, pp.400-407, 1998.
- [4] Freeman, E., Gelernter, D.: Lifestreams: a storage model for personal data, *ACM SIGMOD Record*, Vol.25, No.1, pp.80-86, 1996.
- [5] Gemmell, J., Lueder, R. and Bell, G.: The MyLifeBits Lifetime Store, *ACM SIGMM 2003 Workshop on Experiential Telepresence*, 2003.
- [6] Girgensohn, A., Bly, S., Shipman, F., Boreczky, J., and Wilcox, L.: Home Video Editing Made Easy - Balancing Automation and User Control, *INTERACT'01*, pp.464-471, 2001.
- [7] Hicks, M.: A Helix Metaphor for Customer Behaviour Visualisation, *IEEE IV*, pp.22-28, 2001.
- [8] Hochheiser, H., Baehrecke, E.H., Mount, S.M., and Shneiderman, B.: Dynamic Querying for Pattern Identification in Microarray and Genomic Data, *Proceedings IEEE Multimedia Conference and Expo*, 2003.
- [9] Kullberg, R. L.: Dynamic Timelines: Visualizing the History of Photography, *Proc. CHI'96*, pp. 386-387, 1996.
- [10] Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., and Card, S. K.: The perspective wall: detail and context smoothly integrated, *Proc. CHI'91*, pp.173-179, 1991.
- [11] Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., and DeLine, R.: Developing Calendar Visualizers for Information Visualizer, *Proc. UIST'94*, pp.109-118, 1994.
- [12] Nagao, K., Shirai, Y., Kevin, S.: Semantic Annotation and Transcoding: Making Text and Multimedia Contents More Usable on the Web, *IEEE Multimedia*, Vol.8, No.2, pp.69-81, 2001.
- [13] 野田 尚志, 上窪 真一, 旭 敏之: 時空間の視覚化手法 ~年輪メタファを組み込んだ時空間ブラウジングコンテンツ~, *インタラクション'98 論文集*, pp.135-136, 1998.
- [14] Plaisant, C., Mushlin, R., Snyder, A., Li, J., Heller, D., and Shneiderman, B.: LifeLines: Using Visualization to Enhance Navigation and Analysis of Patient Records, *American Medical Informatic Association Annual Fall Symposium*, pp. 76-80, 1998.
- [15] Rekimoto, J.: Time-Machine Computing: A Time-centric Approach for the Information Environment, *Proc. UIST'99*, 1999.
- [16] Shirai, Y., Owada, T., Kamei, K., Kuwabara, K.: Optical Stain: Amplifying vestiges of a real environment by light projection, *HCI International2003*, 2003.
- [17] 白井 良成, 松下 光範, 大黒 毅: 秘映プロジェクト: 不可視情報による実環境の拡張, *The 11th Workshop on Interactive Systems and Software(WISS2003)*, pp.115-122, 2003.
- [18] Eick, S. G., Steffen, J. L., and Sumner, E. E. SeeSoft - a tool for visualizing line oriented software statistics: *IEEE Trans. Software Eng.*, Vol. 18, No. 11, pp.957-68, 1992.
- [19] 角 康之, 伊藤 禎宣, 松口 哲也, シドニー フェルス, 間瀬 健二: 協調的なインタラクションの記録と解釈, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.11, pp.2628-2637, 2003.
- [20] 高嶋 章雄, 山本 恭裕, 中小路 久美代: 探索的データ分析のための時間的な概観と詳細の表現およびインタラクションに関する研究, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.11, pp.2767-2777, 2003.
- [21] Tsukada, K., Takabayashi, S. and Masui, T.: Dying Link, *HCI International 2003*, 2003.
- [22] Wright, W.: Information Animation Applications in the Capital Markets, *Proc. InfoVis95*, pp.19-25, 136-137(color plates), 1995.