

知的空間構築における日常物の意義と課題

藤波 香織 Fahim KAWSAR 中島 達夫

早稲田大学理工学部コンピュータ・ネットワーク工学科 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1

E-mail: {fujinami, fahim, tatsuo}@dcl.info.waseda.ac.jp

あらまし 知的空間はユーザの状況（コンテキスト）の把握とそれに応じたシステムの振る舞いにより実現される。このとき、コンテキストの取得と振る舞いの提示方法の自然さが求められる。また、同時に設置・維持に関わるコストと空間の長期にわたる拡張を意識する必要がある。このような要求に対して我々は、知的日常物（Sentient Artefact）と呼ぶ概念を提案している。知的日常物はセンシングとアクチュエーション機能を付加された日常物であり、日常物が持つアフォーダンスを利用してその機能の発揮具合からコンテキストを推定し、情報やサービスを提供することを目的としている。本論文では数種類のプロトタイピングを通して、その意義と課題について述べる。

キーワード コンテキストアウェアネス、知的日常物

Sentient Artefacts: Building Blocks for Smart Environment

Kaori FUJINAMI Fahim KAWSAR and Tatsuo NAKAJIMA

Department of Computer Science, Waseda University 3-4-1 Ohkubo Shinjuku, Tokyo 169-8555 Japan

E-mail: {fujinami, fahim, tatsuo}@dcl.info.waseda.ac.jp

Abstract In this paper, we describe about the augmentation of everyday artefact called sentient artefact. Sentient artefacts can perceive their state-of-use and provide it to other external entities as an “activity context sensor”. Additionally, some of them can present information or services on behalf of the user. The most important advantage we consider is that its state-of-use extracts a user’s activity context in a natural and unobtrusive way since such an everyday artefact has inherent roles and functionalities. We discuss expectations and issues on the augmentation through prototyping.

Keyword Context-awareness, sentient artefact

1. はじめに

“知的空間”の実現に向けての取り組みは多くなされているが、いまだ実現には至っていない。我々はこの理由の一つとして設置・維持管理コストがあると考え、知性の実現には、ユーザがおかれている状況（コンテキスト）の取得手段やコンテキストに応じた情報やサービス提供手段や内容の適切さが求められる。これまで提案されている手法はユーザやデバイスの精密な位置を大規模なロケーションシステムにより測定したり、ユーザの行動をビデオカメラから得られた動画を解析することでコンテキストを取得していた[1, 3]。しかしこれらの手法は、測位精度を向上させるために天井に数センチ間隔でセンサを張り巡らせる必要があることや、設置環境に合わせたアルゴリズムのチューニングが必要であること、動画像処理に計算機パワーを要することなどから、コストを度外視できる実験環境にとどまらざるを得なくなっている。また、二つ目の理由として知的空間とのインタフェースとして様々な新たなデバイスが提案され、各々ユーザビリティを念頭に設計されてはいるものの、依然として多くの使用方法を学ぶ必要があり、ユーザの認知負荷に課題を残す。

以上のことから我々は、日常物の持つアフォーダンスに着目し、イスや鏡のような日常物に対してセンシングやアクチュエーション機能を付加して拡張した知的日常物（Sentient Artefact）の利用を提案している[4, 5]。この知的日常物は、普段は通常の日常物として利用することができるが、その使用状況や所有者などの静的な情報を利用することで、ユーザの

状況に合わせて振る舞いを最適化する状況依存型のアプリケーション（コンテキストアウェアなアプリケーション）を容易に実現することが可能となると考える。

以下では、第2節で想定シナリオについて述べ、つづく第3節では知的日常物のアーキテクチャとプロトタイピング環境について述べる。第4節では複数の知的日常物を統合したアプリケーション例について述べ、第5節でアプローチの評価と今後の展望について述べる。そして第6節で関連研究、最後に7節で結論を述べる。

2. アプリケーションシナリオ

以下のシナリオでは、下線を引いた日常物がユーザの行動支援と作業の簡略化に貢献している。スケジュール帳についても本来物理空間に存在するもののメタファであるので日常物として含んでいる。また、アプリケーション機能と知的日常物の関係を表1に示す。

『東京在住の Mary が寝ようとしていたところ、友人から電話がかかってきて、翌日の午後に横浜で合う約束をした。そこで PDA のスケジュール帳にその情報を登録して、目覚し時計をセットして寝た。寝ている最中に彼女の携帯電話に着信があったが、寝ているため鳴動も振動もしない。翌朝8時に目覚ましを設定していたが天気が良いため予定より早く起き、時計を止めずに洗面所で洗顔と歯磨き（歯ブラシ）を行った。すると目の前の鏡の表面に情報が表示され、午後から横浜は雨が降るとのことなので、着ていく服を変更すること

にした。さらに、最寄りの鉄道にトラブルが発生しているようなので、洗面所での作業を早々に切り上げて代替交通手段を部屋にある PC でチェックすることにした。部屋に戻ると携帯電話は鳴動しており着信があった旨を通知していた。』

表 1 : アプリケーション機能と知的日常物

AP 機能	要求能力	知的日常物
有用な情報の主作業中 (洗面所作業) の提示	提供対象特定	歯ブラシ
	周辺知覚による情報提示	鏡
	未来のコンテキスト提供	スケジュール帳
主作業 (睡眠) への自然な割込制御	主作業の検出	目覚し時計
	主作業と排他的な行為の検出	歯ブラシ 携帯電話

ここで、歯ブラシは他人と共有しないという性質から、その使用を契機に所有者情報をもとに使用者を推定できる。また、鏡は正面で見るといった性質を用いて、人物の検出手段と視線の縁での情報提供手段となり得る。そして、スケジュール帳はユーザが将来存在する場所や時間を推定する手段となる。また目覚まし時計は、アラーム機能の設定は就寝を、鳴動の停止または設定の解除は起床と関連づけられる。さらに歯ブラシや携帯電話の使用は、睡眠中にはあり得ない排他的な行為であることから、これらも起床を表すことができる。

このように日常物本来の機能や常識を利用することで新たな入力装置や大掛かりな装置やデバイスを必要とせずにコンテキストを取得することが可能になると考える。また鏡の例のように、「見る」という通常の使用の延長線上に情報やサービス提供機能を付加することで新たな使用方法を覚える必要がなくなる。

3. 知的日常物の参照アーキテクチャ

以下では知的日常物の参照アーキテクチャについて述べる。

3.1 要求条件

知的日常物が持つべき機能として以下を挙げる。

- 1) 物理環境、ユーザ状況のセンシング能力
- 2) センサから高位コンテキスト (使用状況) 抽出能力
- 3) 物理環境への情報・サービス提供能力
- 4) 外部エンティティとの協調能力
- 5) センサデータやコンテキストデータの履歴管理能力

このうち、3) については必ずしも必要ない。また、知的な空間構築のために重要な役割を果たす外部エンティティとの協調にあたっては、使用状況変化のイベント通知、最新状態の問い合わせ処理、任意アクチュエータの起動要求処理、柔軟な協調実現のためのプラグアンドプレイ機能 (機能発見および通知) が必要となる。

3.2 アーキテクチャ

上述の要求条件に基づいた基本アーキテクチャを図 1 に示し、特徴的な機能について説明する。

コマンド: 外部エンティティによる最新状態取得、アクチュエータ稼働はコマンドとして抽象化されている。決められたインタフェースに基づき開発者が実装することで、容易に外部提供機能を追加できる。

HTTP 対応: 外部エンティティに対する最新状態取得およびアクチュエーション要求、イベント通知は HTTP を用いている。これは次の 2 つの理由による。第一に状態受信側で JSP/Servlet, PHP, Perl といった既存の HTTP サーバサイドプログラミング環境を利用することができ、多様な環境への適用と実装の効率化が期待できるからである。二点目としてプ

ロトタイピングにおける試験の効率化を狙ったものである。つまり、ブラウザをコマンド送信元および状態送信元としてシミュレートすることができ、コマンド送受信と状態送信における受信側の単体試験を特別なプログラムなしに実施できる。特に GET メソッドで実現することでブラウザの URL 入力エリアのみでリクエストを発行できる。通信時のメッセージに関しては次節で述べる。

ディスカバリ: あらかじめ相手のネットワーク情報やプログラム名を知ることなく通信相手の発見を行うために、ディスカバリクライアントはブロードキャストを用いる。ここで通信相手は情報を中央管理するためのレジストリや、ピア・ツー・ピア (P2P) 通信の場合には個々の知的日常物となる。P2P 通信の場合にはディスカバリサーバがリクエスト処理を行う。ディスカバリ時のメッセージは次節で述べる。

履歴管理: センサや使用状況データを蓄積することでデータマイニングや使用状況の経時変化をより高次のコンテキストとして用いることを分散環境で可能とする。

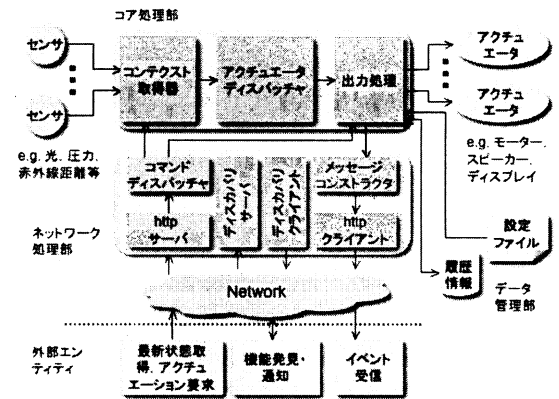


図 1 : 知的日常物の参照アーキテクチャ

3.3 情報モデル

以下ではディスカバリ、イベントとコマンドに関する情報モデルについて述べる。

ディスカバリ: 知的日常物は起動すると通信相手に対して自身に必要な情報をコールバックさせるために、相手に対する要求機能と自身の情報 (HTTP サーバのアドレス、ポート番号、処理プログラム名) を以下のようなブロードキャストメッセージとして送出する。

```
type=repository&myaddress=192.168.0.10&port=8080&program=prog
```

これに対して、指定された種別 (repository) を持つエンティティは myaddress 以下の情報を利用して、メッセージ発行元に自身のアクセス情報を通知する。これは以下のように表される。

```
http://192.168.0.10/prog?myaddress=192.168.0.20&port=80&program=repository
```

情報を中央管理する場合には上記のような専用のリポジトリが応答するが、P2P 通信を行う場合には、図 1 におけるディスカバリサーバがこのネゴシエーションの責を担う。

イベント: イベントはメッセージ種別 ("update") に加えて、誰 (知的日常物) が、いつ、どこで、誰 (ユーザ) にどの機能を (使用状況の種別)、どのように使われたか (変化した状況の名称) を表すパラメータと値で構成される。これは 1 つの知的日常物が 2 種類以上の使用状況を提供可能であるためである。また、知的日常物によっては指紋認証機能などによ

り自身でユーザを知ることができたり、GPS やセル ID の取得により位置情報を取得可能なものがあるために、使用者や場所といった情報も含むことができる。この情報は、HTTP の GET メソッドにより送信され、次の URL により表現される。ここでアドレスとプログラム名 (repository) は前段のディスクカバリにより得られたものである。

http://192.168.0.20/repository?command=update&id=chair001&type=seatstate&state=sitdown&user=fujinami&time=20051010235000&location=entrance

コマンド：コマンドはコマンドの識別子 (コマンド名) とコマンドパラメータを表すパラメータで構成される。この識別子によりコマンドディスパッチャが適切なモジュールに処理を依頼する。コマンドの実行結果がある場合には HTTP のレスポンスとして「データ名=値」の集合で返される。配列のように同一データ項目が複数ある場合には末尾にデータ名の末尾に数字を付けることで識別する。なお、最新状態の取得もコマンドとして実現されており、コマンド名 (retrieve) と取得する状況の種別をパラメータとして与える。次の URL は着座状況 (seatstate) を取得するためのものである。

http://192.168.0.10/prog?command=retrieve&type=seatstate
レスポンス例は以下ようになる。ここで、ユーザ (user) と場所 (location) は提供されなかったので付加されない。
type=seatstate&state=sitting&time=20051010235000

4. アプリケーション例

これまで我々は様々な日常物を拡張してきた[4, 5]。本節では、第2節で述べたシナリオの表1中に見られる2つの機能を実装した例について述べる。これらの関係を図2に示す。

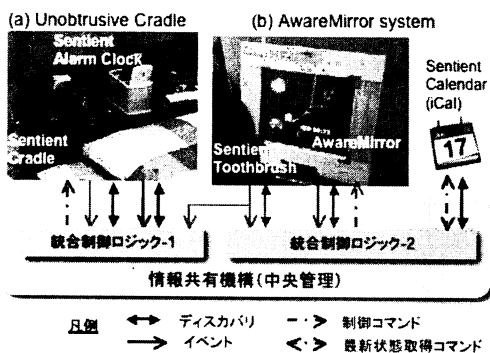


図2：アプリケーションと統合制御ロジックの関係

ここでは5種類の知的日常物 (携帯電話の着信を検知し視覚・聴覚的に表現する置き台 (クレードル), 就寝・起床を代替することができる目覚まし時計, 所有者を使用者とすることができる歯ブラシ, 正面に人物の存在を検出可能かつ視線の縁にその人物に有用な情報を表示することができる鏡, ソフトウェアスケジュール帳)が登場し、これらから得られる使用状況情報は中央の情報共有機構 (リポジトリ) により共有され、統合制御ロジックもリポジトリ上に存在するとしている。つまり、3.3節で述べたディスクカバリ、イベント送信、コマンド送受信、最新状態取得はリポジトリの間で行うことになる。また、クレードルと目覚まし時計、歯ブラシと鏡がそれぞれ近くに存在する (Co-location) ことの検出のために、各知的日常物に無線タグを貼り付け、それらを同一の読み取り器が検出したことを利用した。

Unobtrusive Cradle：これは表1における2番目の機能を実現したものである。ここでは外部から制御可能な携帯電

話のかわりにクレードルを用いた。また、起床の検知は目覚まし時計のアラーム解除または鳴動後の停止に加えて、睡眠と排他的な行為である歯磨き行為の検出により行う。歯ブラシは使用者を特定する手段としてもう一方のアプリケーションと共有可能である。

AwareMirror System：これは表1における1番目の機能を実現したものである。歯ブラシによる個人特定を契機としてスケジュール帳より予定を取得し、行き先の天気予報、交通機関情報といった情報を外部より取得して鏡の上に重畳表示している。

5. 評価と今後の課題

以下ではこれまでのプロトタイプング経験を通して得られた知見と知的日常物が知的空間構築のコンポーネントとして用いられるための今後の課題について述べる。

5.1 使用状況取得の難しさ

これには個人差と例外的な使用が挙げられる。個人差については歯ブラシの使用状況を加速度センサにより検出する際の最適なサンプリング周波数に個人差が見られた。これは手の往復運動の周期の違いによるものと考えられる。歯ブラシのように個人の占有が見込まれるものについては使用の初期段階においてパラメータ (サンプリング周波数) を最適化するためのユーザによる簡易なキャリブレーションプロセスを設けることが有効であると考えられる。一方、休憩所のイスのように他人と共有するような場合はこの手法が適用できないために、別の手法の検討が必要である。

例外的な使用に関しては、歯ブラシを靴の泥落としに使うといった場合が考えられる。この場合には、より多くのセンサ、例えば口中の化学物質を検知する化学センサにより精度を上げたり、歯磨き行為全体を通しての腕の動きの違いを用いたり、使用する場所や共存する物体の特徴を用いることが必要になる。この場合、単体での精度向上には限界があるので後者のようなアプローチが適すると考える。

5.2 空間の漸増的な拡張に向けて

知的日常物の最大の特徴は個々の日常物をコンポーネントと見立てることで空間の機能を知的日常物の増加により拡張することが可能となる点である。このため、コンポーネントの仕様を適切に記述することが重要となる。この仕様は提供するアクチュエーションや使用状況情報の種類だけでなく、それらの関係 (特に概念の包含関係) を述べる必要がある。このことは、故障や移動などで使用中の知的日常物が使用不能になった場合の代替物の検索にも有効であり、これはすなわち知的日常物の機能に関するオントロジ構築を表す。図3に3種類の異なる機能を持ったイスとそれらが提供する使用状況コンテキストの簡易オントロジを示す。

3つのイスはいずれも着座状況 (sitting) に関する情報を提供するが、人間や動物、無生物を含む物体の存在有無のみの検知 (左)、足の状態や背もたれの状態といった高度な着座状況の検知 (中央)、コンパスによる背もたれの方向から推定される顔の向きの検知 (右) と種別と抽象度が多様である。特に状態 "sitting" については抽象度の高い順に、物体の存在有無 → 人間の存在有無 → (人間の) 座り方、と機能の包含関係を形成することで左側のイスで物体の存在有無を利用してアプリケーションは中央のイスでも処理を続行可能となる。

ここでの課題は、オントロジの構築主体である。WordNet[8]では共有可能なオントロジを実現しており、イスの種類や家具とイスの包含関係についての定義がされているが、これと知的日常物として製造業者により拡張された機能の関係が完全に対応しないことが多い。よって、大きな概念間の関係を

部分的に利用しながら、対象となる空間内、あるいは開発者のソリューションセット内で独自のオントロジ構築が必要となると考える。

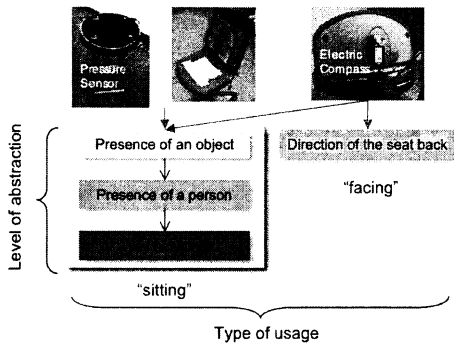


図3：3種類のイスに関する簡易オントロジ

5.3 空間の構築・維持管理コスト

前述のように、高精度の測位に基づくコンテキスト推定は事前にセンシングインフラストラクチャを敷設する必要がある。このため、未敷設の空間で単純なサービス提供をする場合であってもはじめから敷設・調整作業を行う必要がある。

一方で知的日常物を用いたアプローチでは使用状況や所有者といった多様な情報を利用可能であるため、位置情報に関しては精密な位置情報は必要ないばかりか、同一検出器の範囲に存在するという共存関係で十分ことが多い。このため、必要に応じてID検出器を設置して検出情報を利用すればよくなり、初期導入コストとチューニングによる維持管理コストを抑制することができると考える。また通常、製品レベルで品質が保証されるため、ユーザや統合アプリケーション開発者が負う維持管理コストも低いと考えられる。

5.4 情報管理と統制御ロジックの場所

第4節で述べたアプリケーションでは知的日常物から得られた使用状況の管理とそこから高次のコンテキストを抽出して再び知的日常物を制御する統制御ロジックは中央に存在していた。この方式では中央集権的であるために情報や処理の整合性を保ちやすい反面、パフォーマンスや故障時のボトルネックとなり得る。つぎに、任意の（通常は制御対象となる）知的日常物状に存在するモデルが考えられる。この場合にはボトルネックは解消されるものの、リソース制約があるデバイスでは任意の統制御ロジックを実行するための機構を提供することは困難である。最後に、携帯電話やPDAのようなパーソナルデバイス上に配備するモデルが考えられる。この場合は、使用者をユーザと仮定できるのでユーザ特定が不要となることや個人情報の提供をその端末上で制御できるという利点はあるものの、睡眠時や入浴時など特殊な状況下では帯同していないこともある。

このように絶対的に優れたモデルはなく、アプリケーションやデバイスの要件において最適なモデルは変わる。その一方で、必要な情報やロジック自体は変更がないことからポータブルなロジック記述と実行環境により柔軟なシステム構成が期待できる。なお、第3節で述べた参照アーキテクチャはディスカバリ対象を変えることでこれらの3つのモデルに対応することができると考える。

5.5 参照アーキテクチャ

第3節で提案した参照アーキテクチャはJavaにより実装している。コマンド機能や出力機能は抽象クラスとして提供

しているために機能の差分のみを実装するだけでよくプロトタイピングを容易にしている。同様の効果はC++のようなオブジェクト指向言語での実装で得られるが、参照アーキテクチャが提供する機能はCであっても実装可能と考える。また、現状ではディスカバリサーバ機能が未実装であるために、これを実装したうえで5.4節で挙げたモデル検証を行いたい。

6. 関連研究

Sentient Computing[1]は、天井に張り巡らされたセンサとActive Batタグを用いて、1インチ程度の精度での位置検出を可能としている。そしてこれを用いて、ロケーションベースの様々なサービスを提案している。そこでは「顔がモニタの方向を向いている」といった高度な情報も抽出しているが、大規模なインフラストラクチャとバックエンドの計算機パワーが必要であり、現実味に欠ける。MediaCup[2]とそれに続くSmartITsプロジェクト[6]ではセンサや計算機能による日常物拡張のプロトタイピング環境と様々な拡張例を示しており、我々の知的日常物の考え方に影響を与えている。これらのプロジェクトは主として日常物の拡張という新しいアイデアの検証が目的であり、情報の形式的な表現やシステムティックな統合に焦点を置いていない。Tangible Bitsプロジェクト[7]は日常物のメタファを用いた入出力装置によりデジタル空間と物理空間の境界をシームレスにすることを目指しているが、通常の日常物の使用を踏襲するのではなく新たなデバイスを用いる点異なる。

7. おわりに

本論文では、ユーザコンテキストの取得と適応情報やサービスの提供を通常の日常物を介して自然に行うための手段として「知的日常物」を提案した。知的日常物は「使用状況」を提供するコンテキストセンサと情報やサービスを提供するアクチュエータコンポーネントと考えることができ、これらの組み合わせで知的空間を必要に応じて拡張することを目的としている。また、プロトタイピングを容易にする知的日常物の参照アーキテクチャを提案・実装し、プロトタイプアプリケーションの開発を行った。そして、知的空間構築のコンポーネントとして用いるための課題について述べた。

文献

- [1] M. Addresssee, et al.: "Implementing a Sentient Computing System.", *IEEE Computer Society*. pp. 50-56, Aug. 2001.
- [2] M. Beigl, et al.: "MediaCups: Experience with Design and Use of Computer-Augmented Everyday Objects." *Computer Networks*, 35(4):pp. 401-409, March 2001.
- [3] B. Brumitt, et al.: "EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments", In *Proc. of HUC2K*, pp. 12-29, Sep., 2000.
- [4] K. Fujinami, et al.: "AwareMirror: A Personalized Display using a Mirror." In *Proc. of Pervasive2005, LNCS 3468*, pp. 315-332, May 2005.
- [5] K. Fujinami, et al.: "Towards System Software for Physical Space Applications." In *Proc. of ACM SAC2005*, pp. 1613-1620, March 2005.
- [6] H.W.Gellersen, et al.: "Physical Prototyping with Smart-ITs", *IEEE Pervasive Magazine*, Vol.3, 2004.
- [7] H. Ishii, et al.: "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms", In *Proc. of CHI 97*, pp. 234-241, 1997.
- [8] WordNet website: <<http://wordnet.princeton.edu/>>