

uMegane: AR技術を用いたセンサ情報可視化システム

今枝 卓也[†] 高汐 一紀^{†,‡} 徳田 英幸^{†,‡}

[†] 慶応義塾大学大学院 政策・メディア研究科
[‡] 慶応義塾大学 環境情報学部

あらまし 近年、ユビキタス研究の発展により、様々なセンサが環境内に埋め込まれるようになってきた。しかし、環境内に埋め込まれたセンサ情報の取得はデータベースに関する知識の無いユーザには敷居が高く、センサ利用の妨げになっている。また、センサが多量になると、得られる情報が煩雑になりすぎ目的の情報にたどり着けないという問題が発生する。本研究ではこれらの問題を解決するために、Augmented Reality (AR) 技術を用いてセンサ情報を可視化し、センサ情報フィルタ機構と容易に理解可能なインターフェースを備えた“uMegane”システムを開発した。
キーワード 拡張現実, センサ, 可視化

uMegane: Visualization system of sensor data using AR technology

Takuya IMAEDA[†], Kazunori TAKASHIO^{†,‡}, and Hideyuki TOKUDA^{†,‡}

[†] Graduate School of Media and Governance, Keio University
[‡] Faculty of Environmental Information, Keio University

Abstract In recent years, with the advance of ubiquitous technology, various sensors have come to be embedded in the real world. However it is difficult for users who do not have knowledge about database to acquire the sensor information. The difficulty prevents users from using sensor technology. When there are many sensors in the environment, sensor information is too complex for users to access the target information. In this paper, we developed the prototype of “uMegane” system to visualize sensor data using Augmented Reality (AR) technology. This system has the filter mechanism of sensor information and interface that the users can easily understand.

Key words Augmented Reality, Sensor, Visualization

1. はじめに

近年、情報機器の小型化に伴い、小型センサが様々な環境内に埋め込まれるようになってきた。センサを環境内に埋め込む事で、実世界上のオブジェクトを監視したり、環境の情報取得や状況に応じたサービス提供が可能になる。現実空間を監視する事で、オブジェクトの現在や過去の状態を取得したり異常状態にあるオブジェクトを検知できるようになる。

しかし、現実空間上に偏在しているセンサ情報を取得する際には、ユーザにコンピュータの知識や手間のかかる操作を要求するため、センサから得られた情報に簡単にアクセスできないという問題がある。また、目の前にあるオブジェクトのセンサ情報に異常があるか調べたい場合でも、コンピュータを通して情報を取得する必要がある。例えば、過去のある時点でのセンサ情報を得るためには、データベースに対して操作を行う必要があり、データベースの知識がないユーザには敷居が高い。データベースに直接アクセスしないインターフェースとしては、センサに二次元バーコードを貼付するという手法がある。この

場合、携帯電話を通してセンサの情報を取得できるようになるが、情報を取得したいセンサを発見して二次元バーコードを写真撮影するという手間が発生する。さらに、実世界には様々な種類のオブジェクトが多量に存在し、環境モニタリング等のようなアプリケーションは長期間に渡って運用される事が多い。そのため、センサから得られる情報量は膨大になり、目的とする情報の取得が難しくなる。

本研究は、コンピュータの知識や手間のかかる操作を要求しない形でセンサ情報にアクセスできるシステムを実現する事が目的である。この目的を達成するために、本研究では Augmented Reality (AR) 技術を用いてセンサ情報を可視化する“uMegane”システムを開発した。AR技術とは、現実空間に仮想空間上の情報を投影する技術である。AR技術を用いる事で、仮想空間内に蓄えられたセンサ情報を現実空間上に投影でき、センサからの情報取得をスムーズに行えるようになる。この時、センサ情報は膨大な量になる事が多く、全てのセンサ情報を現実空間上に投影する事は難しい。そのため、uMeganeシステムで表示したい情報を選別するセンサ情報フィルタ機構を実装し

た。センサ情報フィルタ機構を使う事で、システム利用者は“サングラスのレンズを切り替えるように”表示する情報の種類を切り替えられるようになる。

本稿では、まず第2章で本研究の関連研究について述べる。次に、第3章でセンサ情報可視化手法について、第4章ではセンサ情報フィルタ機構について説明する。第5章でプロトタイプの実装と評価について述べる。第6章で今後の展望について述べ、第7章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

本章では、本研究と関連する研究を紹介する。AR技術によってセンサ情報を現実空間上に投影する手法としては、既に提案や実用化されているものが存在する。特に兵器技術分野においては、既に様々なシステムが実用化され運用されている。例えば、戦闘機や戦闘ヘリ等のコックピットには、搭乗機の周辺状態をヘッドアップディスプレイ (HUD) やヘッドマウントディスプレイ (HMD) 上に表示するシステムが搭載されている [2]。このような技術は民間分野への転用も進んでおり、既に自動車のフロントガラス上に周辺情報を表示する技術が実用化されている。しかし、これらのシステムは航空機や自動車の周辺という限定的な状況や空間にのみ対応する。今後、人間の生活空間内には様々なセンサが登場すると考えられ、その使用用途も多岐に渡る。人間の生活空間内に様々なセンサやデバイスが偏在するユビキタスコンピューティング環境においては、センサ可視化システムは多様化する状況に対応できるシステムである必要がある。

生活空間内における仮想空間の情報投影システムとしては NaviCam [5] が挙げられる。これは現実空間内に仮想空間の情報ビジュアルマーカの形で埋め込み、カメラでビジュアルマーカを読み取って現実空間の映像と仮想空間の情報を重ね合わせて表示するものである。このシステムでは、現実空間内の本棚やカレンダー情報等、比較的静的な情報を対象としており、常に変化し続ける動的な情報であるセンサ情報は対象としていない。ユビキタスコンピューティング環境での AR 技術の利用例として、慶應義塾大学徳田研究室の u-Photo [4] が挙げられる。これは、写真というメタファを用いて情報機器の操作を可能にするデバイスである。u-Photo の利用者は情報機器を撮影した写真によって情報機器を操作できる。u-Photo はより直感的なデバイス操作を目指しており、本研究で問題意識としているセンサ情報の可視化手法については不十分である。

また、携帯電話の二次元バーコード読み取り機能を用いてセンサ情報を可視化している事例として AiryNotes [3] がある。新宿御苑で行われた微気象観測に関する実証実験において使用された AiryNotes システムでは、利用者が簡単にセンサ情報を閲覧できるようにセンサパッケージ上に二次元バーコードが印刷されている。利用者は情報を閲覧したいセンサを発見したら、センサパッケージ上の二次元バーコードを携帯電話で撮影する事で過去のセンサ情報の履歴を閲覧できる。この手法は、利用者に特殊な技術や操作を要求する事なく、手軽にセンサ情報へのアクセスが可能になる。しかし、利用者に対して“携帯電話

による撮影”という操作を要求するため、必要としている情報にたどり着くのが困難になる場合がある。例えば、利用者が周辺にあるセンサの中から異常な値を示しているセンサを探したいと思った場合、センサを一つ一つ撮影して回らなくてはならず、面倒である。

3. センサ情報の可視化

本章ではセンサ情報の可視化手法について述べる。

3.1 現実空間の認識手法

現実空間上に仮想空間の情報を投影するには、カメラ映像から現実空間上に存在するオブジェクトやカメラの位置情報等、現実空間を認識する必要がある。現実空間を認識する手法としては、

- ビジュアルマーカを用いる手法
- 3D モデルを用いる手法
- 特徴点を抽出する手法

の3つがある。以下にそれぞれの特徴を述べる。

ビジュアルマーカを用いる手法は、カメラに映ったビジュアルマーカの形状からカメラとビジュアルマーカ間の位置関係を求める。ARToolkit [1] のようにライブラリとして提供されているソフトウェアが増えた事から、AR 分野では広く使われている。ビジュアルマーカを用いるには予めビジュアルマーカの画像を用意し、ビジュアルマーカと現実空間の間の紐付けを行っておく必要がある。さらに、現実空間にビジュアルマーカを配置するという手間がかかる。しかし、ビジュアルマーカに一意に決定された番号を割り振っておけば、大量にオブジェクトが存在する空間内でも個々のオブジェクトを認識できる利点がある。

3D モデルを用いる手法は、予め現実空間内のオブジェクトの 3D モデルを作成しておき、現実空間の映像からそのモデルに一致する物を探し、カメラとオブジェクト間の位置関係を求める [7]。この手法は認識したいオブジェクトの 3D モデルを作成しておく必要があるが、現実空間にビジュアルマーカを配置しなくてもよい。しかし、同じ形をしているオブジェクトは同じ物として認識してしまう可能性が高い。そのため、商品を管理している倉庫内のように同じ物が大量に存在する空間には対応できない。

特徴点を抽出する手法は、カメラ映像を画像解析して特徴点を抽出し、カメラの移動量からカメラの位置や姿勢を求める手法である [8]。予め用意しておくモデルが存在せず、現実空間を改変する必要もないため、他の手法に比べて人間の生活空間内にも簡単に導入できる。しかし、カメラの位置情報を求める手法のため、カメラがどの程度移動したかはわかっていても、現実空間のオブジェクトを認識できない。また、他の手法に比べて計算量の観点から負荷が高い。以上の3つの手法の特徴を表1にまとめた。

本研究では、人間の生活空間内を想定環境としている。そのため、形が同じでも違うオブジェクトが存在する状況がある。例えば商店等では、同じ種類のオブジェクトが大量に存在している状況が考えられる。上記の比較を踏まえ、本研究では形が

表 1 現実空間の認識手法の比較

	現実空間の 改変	事前の モデル作成	個別の オブジェクト認識
ビジュアルマーカ	必要	必要	可能
3D モデル	必要	不必要	形状が違えば 可能
特徴点	不必要	不必要	不可能

同じでも個々のオブジェクトを違う物として扱えるビジュアルマーカを用いる手法を使う。また、ビジュアルマーカはシステム利用者のサービス発見の助けとなる効果も期待できる。図 1 に実装の際に使用したビジュアルマーカの例を示す。

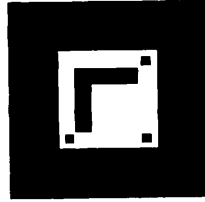


図 1 ビジュアルマーカ例

通常の二次元バーコードと同じように、ビジュアルマーカ内の黒い四角の並びによって個々のビジュアルマーカを区別する。

3.2 想定環境

本研究では、人間の生活空間内のオブジェクトにビジュアルマーカとセンサが貼り付けられている環境を想定する。センサによって取得できる情報としては、

- 照度
- 温度
- 振動 (加速度)

を想定する。また、各センサはセンサ情報の蓄積や配信を行うセンサ情報サーバにネットワークで接続されている。

3.3 センサ情報の抽象化

動的に変化し続けるセンサ情報を文字で表現すると、数字が目まぐるしく変化して読み取りが困難になる。グラフ、絵等の二次元的な表現をすると、三次元である現実空間の映像から浮き上がってしまう。そのため、システム利用者の視覚を混乱させ、円滑な作業進行を妨げてしまう恐れがある。

そこで uMegane システムでは 3D モデルを使って抽象的にセンサ情報を表現する。図 2 に実際の実行時の画面を示す。

今回のプロトタイプ実装では、球の大きさや色、運動によってセンサ情報を表現している。球の大きさは照度を表現している。センサが照明の下で照らされている時には図 2 の (a) のように球が大きく見える。センサを手で隠す等して光を遮ると、(b) のように球が小さくなる。球の色によって温度を表現している。通常の室温程度の温度の時には球の色は青い。熱湯を注いだカップにセンサを近づけて温度を上げると色が赤く変化する。また、球はビジュアルマーカを中心にして公転運動をしている。この公転半径と運動の速さで加速度を表現している。公転半径が小さく、遅く動いている時、加速度センサは小さい値

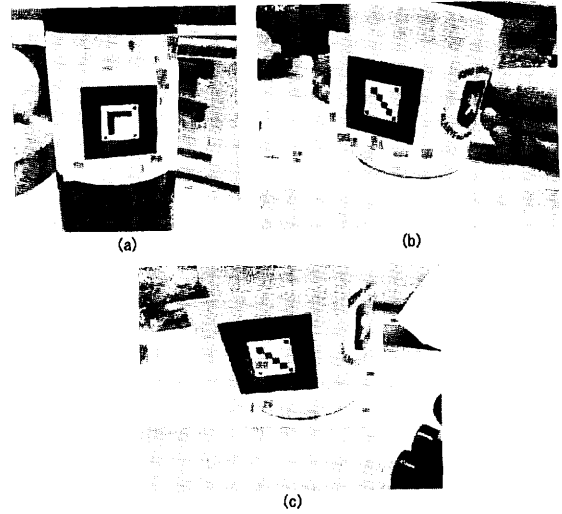


図 2 実行時画面

を示している。公転半径が大きく、速く動いている時は、加速度が大きい事を示している。

4. センサ情報フィルタ機構

本章では表示するセンサ情報を選別するフィルタ機構について述べる。

4.1 センサ情報の選別

現実空間上には大量のオブジェクトが存在し、今後センサが内蔵されたオブジェクトが増大していくと予想される。センサが内蔵されていないオブジェクトでも、無線センサノードを利用する事でシステム利用者自身の手でセンサを取り付けられる環境が整備されていくと考えられる [9]。このような環境下で、全てのセンサ情報を HMD 上に投影する事は困難であるだけでなく、システム利用者の視覚情報を混乱させ作業を妨害してしまう結果になりかねない。また、システム利用者の求める情報によって、表示する情報の種類を切り替える必要がある。例えば、現在のセンサ情報を取得したい場合と、過去の一時点でのセンサ情報を知りたい場合では要求される情報の種類が違う。このような要求に答えるために、uMegane システムではセンサ情報フィルタ機構を実装した。センサ情報フィルタ機構はユーザの操作に応じて「サングラスのレンズを切り替えるように」表示する情報の種類を切り替える機能である。センサ情報フィルタ機構により、表示する情報を現在と過去で切り替えたり、特定の値を示すセンサのみを表示するといった表示方法ができるようになる。プロトタイプ実装では、システム運用開始時から使用可能なフィルタである組み込みフィルタとして、リアルタイムフィルタとタイムマシンフィルタを実装した。また、拡張を容易にするために、フィルタを後で定義し追加できるユーザ定義フィルタを利用できるようにした。センサ情報フィルタ機構の概要を図 3 に示す。

4.2 組み込みフィルタ

uMegane システムではセンサ情報の表示において最も基本

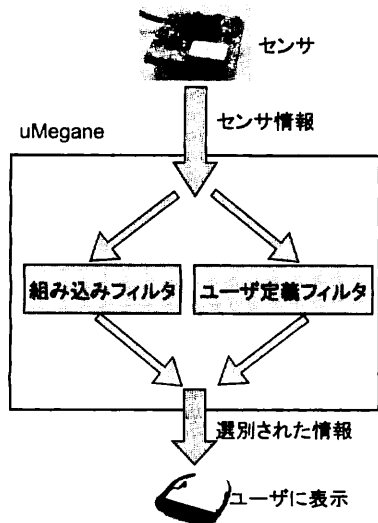


図3 センサ情報フィルタ機構の概要

的と思われる表示機能を組み込みフィルタとして利用できる。プロトタイプ実装では、リアルタイムフィルタとタイムマシンフィルタを組み込んだ。以下で各組み込みフィルタについて説明する。

4.2.1 リアルタイムフィルタ

リアルタイムフィルタは、最新のセンサ情報だけを表示するフィルタである。このフィルタを用いる事で、システム利用者は現在のセンサ情報だけを閲覧できる。センサ情報の更新頻度はセンサの設定によって異なるため、センサによっては過去に取得できた最新の情報しか表示できない。

4.2.2 タイムマシンフィルタ

タイムマシンフィルタは過去にさかのぼってセンサ情報を表示するフィルタである。このフィルタを用いる事で、システム利用者は過去の任意の時点でのセンサ情報だけを表示できる。システム利用者はマウス操作によって、時間を巻き戻したり、逆に早送りする等して、時間経過によって変化するセンサ情報を閲覧できる。システム利用者は移動しながら uMegane システムを利用する事が考えられるので、表示日時の設定等での入力は机上での操作を要求しないよう空中操作が可能なマウスを用いる。

4.3 ユーザ定義フィルタ

今後、人間の生活空間内で利用できるセンサの種類は上記で想定したセンサ以上に増えていくと考えられる。また、システム利用者によって必要としている情報の種類は違うため、組み込みフィルタ以外のセンサ情報表示手法が求められる状況が存在する。以上の理由から、組み込まれたフィルタ機能だけでは対応できない状況が生じてしまう。uMegane システムは新しいセンサや表示方法に対応できるよう拡張性を持つ必要があるそこで、uMegane システムの今後の拡張を容易にするために、新しく定義したフィルタを追加する機能を実装した。フィルタ定義用スクリプトファイルを編集し、uMegane に読み込ませ

る事で新しいフィルタを追加できる。

プロトタイプ実装では、温度の異常検知フィルタを定義して uMegane に追加した。商店の商品管理にセンサを利用する場合には、商品全てのセンサ情報を表示する必要はなく、異常のある商品だけ判別できればよい。このような場合には異常検知フィルタを用いる事で、余分な情報を表示せずに必要な情報のみ表示できる。異常検知フィルタの記述例を表2に示す。

表2 異常検知フィルタ記述例

```
time current
if temperature > 30
then
    size max
    color max
    revolution max
fi
```

この例では、現在のセンサ情報を対象とし、30度以上の温度を異常状態としている。30度以上の温度を示しているセンサは、球の大きさを最大にし、色を赤くし、公転半径と速度を最大にして表示する事でシステム利用者への注意を促している。

5. 実装と評価

本章では uMegane システムプロトタイプの実装について述べる。

5.1 実装

ハードウェア構成図を図4に示す。

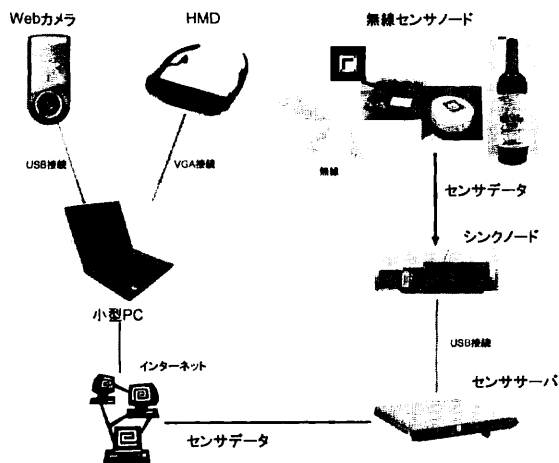


図4 ハードウェア構成図

センサとして uPart [6] を利用した。uPart はカーlsruエ大学 TecO で開発された小型無線センサノードである。照度、温度、1軸加速度のセンサを備え、これらのセンサから得られた情報を周辺のシンクノードに無線で送信できる。今回の実装では、USB接続のシンクノードをセンサ情報を蓄積するセンササーバに接続し、サーバに直接 uPart からの情報を送信するようにした。センササーバとクライアントマシンは無線ネット

ワークでつながり、uMegane 利用者は図 5 に示すように小型 PC と HMD、Web カメラを携帯する。クライアントマシンはセンササーバからセンサ情報を受け取り、Web カメラから得られた画像上にセンサ情報を HMD 上に投影する。uPart は専用のセンサケースに入れ、センサケース上にビジュアルマーカを貼り付けた(図 6)。



図 5 uMegane システム利用者

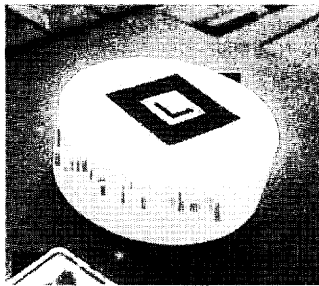


図 6 uPart センサケース

ソフトウェア構成図を図 7 に示す。

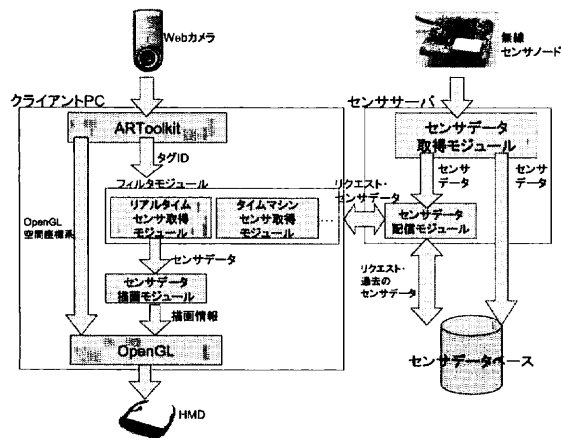


図 7 ソフトウェア構成図

言語はクライアントソフトは C++, サーバソフトは Java を用いて実装した。ビジュアルマーカの認識には ARToolkit [1] を利用して実装した。

5.2 評 価

実装したプロトタイプについてユーザビリティ評価を行った。評価実験は年齢 20 歳から 25 歳までの 7 人に携帯電話による二次元バーコード撮影、及び uMegane のリアルタイムフィルタと異常検知フィルタでセンサ情報を取得してもらうという形式で行った。参加者の内、3 人はセンサを使った環境モニタリングシステムを扱った経験があった。実験はセンサ情報と結び付けられた二次元バーコードと uMegane 用ビジュアルマーカ各 10 枚を貼った室内環境で行った。この実験では、参加者が二次元バーコードを携帯電話で撮影すると、携帯電話の Web ブラウザが起動し、センサ情報が記述された HTML ページを表示するようにした。参加者には携帯電話と uMegane の簡単な説明をした後、携帯電話と uMegane でセンサ情報を取得してもらった。実験後、参加者に uMegane システムの使いやすさについての質問をアンケート形式で 5 段階評価で答えてもらった。アンケートの結果を表 3 に示す。

表 3 アンケート結果

	1	2	3	4	5	平均
日常的に uMegane システムを使いたい	0	3	2	2	0	2.8571
異常検知を行う際には uMegane システムを使いたい	0	0	1	4	2	4.1429
uMegane システムはセンサ情報を可視化するには有用である	0	0	0	2	5	4.7142
uMegane システムはデータベースを直接操作するよりも使いやすい	0	1	0	0	6	4.5714
Web インターフェースよりも uMegane システムを使いたい	0	0	3	2	2	3.8571
二次元バーコードと携帯電話を用いてセンサ情報を取得するよりも uMegane システムを使いたい	0	0	0	1	6	4.8571

アンケートの結果から、参加者の多くは、センサ情報の読み取りについては携帯電話と二次元バーコードによる撮影や Web ブラウザでの表示よりも uMegane システムが使いやすいと感じた事がわかった。コメントとしては「携帯電話と二次元バーコードを使った情報の読み取りより uMegane の方が存在を意識しなかった」や「使用用途によっては二次元バーコードよりも理解しやすいと感じた」といった回答が得られ、uMegane システムの有用性が確認できた。しかし、日常的に uMegane システムを使いたいかという質問に対しては否定的な結果が得られた。原因としては、今回の評価実験ではノート PC や Web カメラ等のような、携帯電話に比べて非常に大きな機器を用いた事が考えられる。今後の課題として使用機器を小型化する必要がある。また、「カメラの見え方によっては情報が見えなくなる」というコメントが得られた。uMegane はカメラで撮影した映像上にセンサ情報を重ね合わせるため、利用者の周辺状況によっては情報が見えなくなる。プロトタイプ実装では球のみでセンサ情報を表示しているが、状況に応じてモデルの使い分け等の解決策が必要である事がわかった。「異常検知フィルタで異常ではないビジュアルマーカを読み取った時には異常では無い事を示す情報を表示してほしい」という意見も見られた。このコメントから、利用者はビジュアルマーカのある場所には

常に情報が表示される事を期待している事がわかった。このような利用者の要求に対しては、uMegane のフィルタ設定の改善や、新しくフィルタを用意する等の必要がある。

6. 今後の展望

今後の発展としては、まずフィルタ定義をより柔軟に行えるようにする事が考えられる。プロトタイプ実装では球のみでセンサ情報を表現していたが、本システムの利用場面では他のモデルでの表示が最適な場面もあり得る。フィルタ定義によりセンサ情報を柔軟に表現できるようになれば、本システムを活用できる場面が増える。

また、ビジュアルマーカ以外での現実空間のオブジェクト認識手法も検討すべき課題として挙げられる。今回のプロトタイプ実装では、現実空間上のオブジェクトを個別に認識する必要があったため、ビジュアルマーカによってオブジェクトを認識した。しかし、ビジュアルマーカは現実空間を改変する必要があり、システム利用者を視覚的に邪魔してしまう可能性がある。ビジュアルマーカを利用せずに現実空間のオブジェクトを認識する手法としては、センサ自体に LED を内蔵させ、光通信によってセンサを識別する手法が考えられる。利用場面によってビジュアルマーカと LED を使い分けたり、不可視光 LED を使う等の手法を試していく予定である。

7. おわりに

現実空間内に多様なセンサが埋め込まれるユビキタスコンピューティング環境においては、センサの情報が膨大な量になる。このセンサ情報の中から目的の情報を取得するにはデータベースへのアクセスや手間のかかる操作が必要になり、目的とする情報を取得できないという問題が発生する。本研究では、AR 技術を用いてセンサ情報を可視化する事で、利用者に特殊な技術や操作を要求する事なくセンサ情報の閲覧を可能にする "uMegane" システムを開発した。uMegane システムは、ビジュアルマーカを利用してセンサを認識し、現実空間の映像と仮想空間のデータを重ね合わせて HMD に投影する。また、膨大なセンサ情報を全て HMD 上に投影する事は困難であるため、フィルタ機構により表示するセンサ情報を選別する機能を実装した。今回は uMegane システムのプロトタイプを実装し、現在のセンサ情報のみを表示するリアルタイムフィルタ、過去にさかのぼってセンサ情報を表示するタイムマシンフィルタ、異常状態に陥ったオブジェクトを検知する異常検知フィルタを実装した。プロトタイプ実装のユーザビリティ評価を行い有用性を確認できた。

文 献

- [1] Kato, H., Billinghurst, M., Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System, In Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99). Oct 1999
- [2] Adam, E.C., Fighter cockpits of the future, Digital Avionics Systems Conference, 1993. 12th DASC., AIAA/IEEE, pp.318-323, 25-28 Oct 1993
- [3] Ito, M., Katagiri, Y., Ishikawa, M., Tokuda, H., Airy Notes: An Experiment of Microclimate Monitoring in Shinjuku Gy-

oen Garden, In Networked Sensing Systems, 2007. INSS '07. Fourth International Conference on, pp.260-266, 6-8 June 2007

- [4] Suzuki, G., Aoki, S., Iwamoto, T., Maruyama, D., Koda, T., Kohtake, N., Takashio, K., Tokuda, H., u-Photo: Interacting with Pervasive Services Using Digital Still Images, In Pervasive 2004 Workshop on Memory and Sharing of Experiences, Apr 2005
- [5] Jun Rekimoto, The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, In Designing Communication and Collaboration Support Systems, 1999.
- [6] M. Beigl, C. Decker, A. Krohn, T. Riedel, and T. Zimmer., uParts: Low Cost Sensor Networks at Scale, In Ubicomp 2005 Demonstration, Sept. 2005.
- [7] Bleser, G. Wuest, H. Stricker, D., Online camera pose estimation in partially known and dynamic scenes, In Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006. IEEE/ACM International Symposium on, pp.56-65, Oct. 2006
- [8] Klein G. Murray D., Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, In Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. IEEE/ACM International Symposium on, Nov. 2007
- [9] Yonezawa, T., Sakakibara, H. Koizumi, K. Miyajima, S. Nakazawa, J, Takashio, K. Tokuda, H., uPackage: A Package to Enable Do-It-Yourself Style Ubiquitous Services with Daily Objects, In Ubiquitous Computing Systems, 2007. UCS 2007. Nov. 2007