

ウェアラブル環境のためのイベント駆動型 ナビゲーションプラットフォーム

宮前 雅一[†] 寺田 努^{††} 岸野 泰恵[†]
塚本 昌彦[†] 西尾 章治郎[†]

近年、計算機をつねに身につけて持ち歩くウェアラブルコンピューティング環境が実現しつつあり、各種のセンサを用いて取得したユーザの状況をもとに自動的に計算機が情報を提示するナビゲーションシステムに対する期待が高まっている。そこで本稿では、ナビゲーションシステムに必要なとされる要件を明らかにし、柔軟なシステムを容易に構築、運用できるイベント駆動型アプリケーションプラットフォームを提案する。構築したプラットフォームは、イベント駆動型ルールの集合で動作を記述するため、ユーザやデバイス構成に応じたシステムのカスタマイズが容易になる。また、本稿では構築したプロトタイプシステムを実際に運用することで、システムの評価を行った。提案システムを用いることで、ウェアラブル環境における高度なナビゲーションを容易に実現できる。

An Event-driven Navigation Platform for Wearable Computing Environments

MASAKAZU MIYAMAE,[†] TSUTOMU TERADA,^{††} YASUE KISHINO,[†]
MASAHIKO TSUKAMOTO[†] and SHOJIRO NISHIO[†]

In recent years, a wearable computing environment becomes a reality, which is the environment that a user wears and uses his/her own computer wherever he/she goes. As a result, it attracts a lot of attention on navigation systems that provide various information according to users' situation. In this paper, we clarify the requirements of wearable navigation systems and propose an event-driven navigation platform to fulfill them. Since the behaviors of our platform are described in a set of event-driven rules, users can adopt a variety of attached devices and customize the system configurations. Moreover, we have developed a prototype of our system and made an experimental study for an evaluation of the system. Using our system, service providers can construct flexible wearable navigations easily.

1. はじめに

近年、マイクロエレクトロニクス技術の発展による計算機の小型化・軽量化にともなって、ウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっている。ウェアラブルコンピューティングとは、計算機をユーザがつねに身につけて持ち運ぶコンピューティングの一形態であり、従来の計算機の利用形態と比較して次の3つの特徴を持つ¹⁾。

- ハンズフリー：計算機を身体に装着しているため、両手を使用せずに情報を参照できる。

- 常時オン：計算機はつねに電源が入っており、使いたいときにすぐに使える。
- 生活密着：つねに計算機を装着した状態で、日常生活を行う。

実際にウェアラブルコンピュータを利用している様子を図1に示す。この図では、ユーザは計算機をリュックに入れて持ち運び、装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いて情報を閲覧している。ウェアラブルコンピューティング環境では、常時オン・生活密着という特徴により、計算機はGPSや地磁気センサなど各種のセンサを用いてユーザの位置や向いている方向といった状況を常時把握し、適切な情報を提供できる。また、ハンズフリーという特徴により、ユーザは行動を制限されることなく情報を閲覧できる。

このようなウェアラブルコンピュータの特徴を最も活かすアプリケーションの1つは、博物館の展示品

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

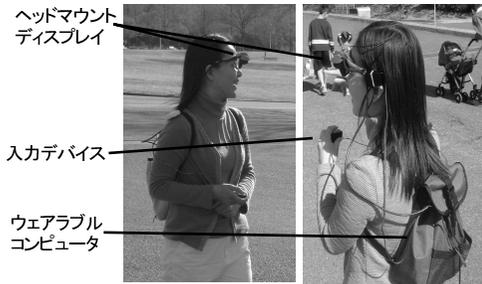


図1 ウェアラブルコンピューティング
Fig. 1 A style of wearable computing.

案内や道案内などのナビゲーションシステムである。ウェアラブル環境においてナビゲーションを行う場合、ユーザはすでに自分の計算機を装着しているため、従来のようにPDAなどの機材を貸し出す⁵⁾のではなく、コンテンツを配信してユーザの計算機上でナビゲーションを行う必要がある。このようなナビゲーションを実現するためには、さまざまな施設で統一した形式で情報配信を行うこと、およびその情報を処理するためのナビゲーションプラットフォームが求められる。また、ウェアラブル環境ではユーザによって計算機に接続しているデバイスの構成が異なるため、多様なデバイス構成に柔軟に対応する機構も必要となる。

そこで、本研究ではウェアラブルコンピューティング環境におけるナビゲーションのためのプラットフォームを提案する。提案するプラットフォームを用いることで、サービス提供者は柔軟なナビゲーションコンテンツを容易に作成、運用できるようになる。また、本研究では実際にナビゲーションプラットフォームを実装し、利用実験を行うことで提案システムの有効性を検証する。

以下、2章でウェアラブル環境におけるナビゲーションについて説明し、3章でシステム的设计を行う。4章で提案システムの実装および実装したシステムを用いて作成したナビゲーションの例について述べ、5章で本システムを考察する。最後に6章でまとめを行う。

2. ウェアラブル環境におけるナビゲーション

本章では、ウェアラブル環境におけるナビゲーションであるウェアラブルナビゲーション、およびウェアラブルナビゲーションを実行するシステムであるナビゲーションエンジンを定義し、それぞれの内容を概説する。

2.1 ウェアラブルナビゲーション

本研究では、ウェアラブル環境におけるナビゲーションをウェアラブルナビゲーションと呼び、「あらかじめ

定義されたシーンにユーザが入ったときに、対応づけられたコンテンツを提示する」サービスを提供するものと定義する。シーンは、交差点や看板などコンテンツを提示したい場所ごとに存在する。たとえば、ユーザが看板の近くで看板の方を向いているときに音声で案内を流す、交差点に立ったときに装着したHMD上に順路を矢印で提示する、博物館で展示物を見ながら端末のボタンを押すと説明ビデオを携帯ディスプレイ上に表示する、といったサービスはそれぞれ1つのシーンを形成する。ウェアラブルナビゲーションはこのようなシーンの集合として表現される。

2.2 ナビゲーションエンジン

ナビゲーションエンジンは、ユーザにウェアラブルナビゲーションサービスを提供し、以下の3つの性質を備えるシステムであると定義する。

- 能動性：位置や状況に応じて能動的に情報を提示する。
- デバイス柔軟性：装着デバイスの多様性を許容する。
- カスタマイズ性：ユーザが望む形で情報を提示する。

ウェアラブルコンピュータはつねに稼動しており、ユーザはHMDやヘッドフォンによっていつでも情報を閲覧できる状態にある。したがって、ナビゲーションエンジンはユーザからの情報要求に応えるだけでなく、ユーザの位置や状況の変化に応じて自動的に情報を提示する能動性が必要となる。また、ウェアラブルコンピュータは使用するユーザにあわせてカスタマイズされているため、そのデバイス構成もさまざまである。たとえば位置取得デバイスだけでも、GPSを用いているユーザ、RFIDリーダを用いて簡易的に位置を取得しているユーザ、デバイスを持たないユーザ、地磁気センサを持ち位置に加えて方向も取得できるユーザなど多様である。ナビゲーションエンジンにはそのようなデバイスの多様性を許容するデバイス柔軟性が必要となる。さらに、出力デバイスも多様であるため、コンテンツをどの出力デバイスで提示するかをカスタマイズできる必要がある。たとえば、音声出力デバイスとしてスピーカとヘッドフォンを持っているユーザに対して音声コンテンツを出力する場合、ユーザの要求に応じてどちらに出力するかを決定できるカスタマイズ性が必要になる。

2.3 ナビゲーションの手順

ナビゲーションエンジンが提供するウェアラブルナビゲーションサービスは図2に示す手順で実行される。まず、ユーザからの入力や、位置・方向などの変

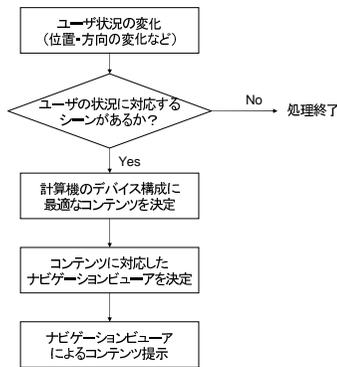


図 2 ナビゲーションの流れ

Fig. 2 The flow diagram of a wearable navigation.

化に応じて、対応するシーンが存在するかどうかを検索する。対応するシーンがあった場合、ユーザの計算機のデバイス構成に応じて、提示すべき最適なコンテンツを選択する。デバイス構成と提示するコンテンツの関係はシーンごとにシーン作成者が記述しておくものとする。たとえば、ある交差点での道案内においてシーン作成者が「音声案内」「矢印を表示」「音声付きビデオで案内」の3種類のコンテンツを作成していた場合、映像出力デバイスと音声出力デバイスの両方を備えていれば「音声付きビデオで案内」を選択し、どちらか片方しかない場合はそれぞれ対応するコンテンツを選択する、といった設定が可能である。コンテンツが選択された後、実際にどのナビゲーションビューアを用いてコンテンツを提示するかを決定する。ナビゲーションビューアとは、ブラウザやメディアプレーヤ、地図ビューアなどコンテンツを提示するソフトウェアおよびハードウェアの総称である。たとえば提示するコンテンツが画像であった場合、画像をブラウザで表示したいユーザもいれば、専用のビューアで表示したいユーザもいると考えられる。そこでナビゲーションエンジンでは、コンテンツの種類ごとに提示するナビゲーションビューアを選択できるようにする。このように、提示コンテンツの決定部分とコンテンツを提示するビューアの選択部分を分離し、独自に対応関係を設定できるようにすることでデバイス柔軟性およびカスタマイズ性を実現している。

3. 設 計

本章では、ナビゲーションエンジンの設計について述べる。

ナビゲーションエンジンは筆者らが提案しているウェアラブルコンピューティングのためのルールエンジン A-WEAR⁶⁾ を基盤として用いる。A-WEAR は、

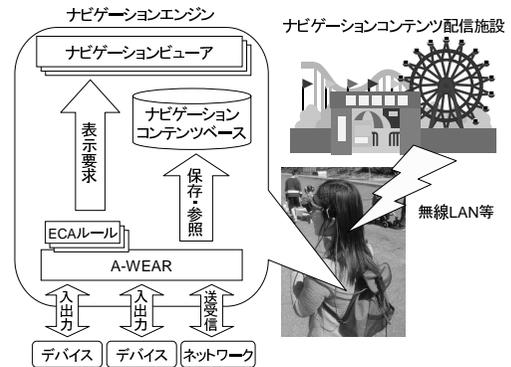


図 3 ナビゲーションエンジンのシステム構成

Fig. 3 The system structure of the navigation engine.

状況の変化に対する処理をイベント駆動型ルールで記述できるため、能動性を満たすシステムを構築できる。また、ルールを追加・削除することでシステムの動作をカスタマイズでき、プラグインの追加によりさまざまなデバイスへの対応やシステムの機能拡張が行えるため、デバイス柔軟性およびカスタマイズ性を満たすシステムが実現できる。

ナビゲーションエンジンのシステム構成を図 3 に示す。ナビゲーションエンジンは、無線 LAN などで受信したコンテンツを A-WEAR で処理してナビゲーションコンテンツベースに格納する。また、ナビゲーションエンジンは GPS などのデバイスからの入力をもとに表示するコンテンツを決定し、ナビゲーションビューアにコンテンツの表示要求を行う。

以下、提案システムで基盤として用いる A-WEAR について詳細に説明し、次にシーンへの参加判定について述べる。その後、デバイス構成によるコンテンツの決定方法について説明し、ナビゲーションビューアの決定方法について述べる。最後に、シーンの作成を支援するシーンエディタについて述べる。

3.1 A-WEAR

A-WEAR は筆者らの研究グループで開発しているウェアラブル環境のためのルール処理エンジンである。A-WEAR の動作は発生する事象 (イベント)、実行させるための条件 (コンディション)、イベントによって発火する操作 (アクション) の 3 つの組からなる ECA ルールで記述する。A-WEAR で使用する ECA ルールの構文を図 4 に示す。Rule-ID は ECA ルールを一意に識別する ID を示す。Event-type はルールをトリガするイベント名を示す。Conditions はアクションを実行するための条件を示し、AND や OR 演算子を用いて、複数コンディション間の関係を記述できる。Actions には実行するアクション名と引数を指定する。

```

DEFINE Rule-ID
    [IN List-of-belonging-groups]
    [FOR Scope]
    [VAR Variable-name AS Variable-type]*
    WHEN Event-type [ (Target-of-event)]
    IF Conditions
    THEN DO Actions
    
```

図 4 A-WEAR の ECA ルール記述構文
Fig. 4 The syntax of an ECA rule.

イベントやアクションに記述できる内容は利用するプラグインによって定義される。プラグイン形式を採用したことで、新たなデバイスへの対応や機能拡張を行う際には対応するプラグインを作成するだけでよく、システム自体の修正を必要としない。

これまでに実装したプラグインの一部とその機能を表 1 に示す。EVENT はプラグインがシステムに提供するイベントを、ACTION はプラグインが提供するアクションを示す。

ナビゲーションで用いる位置取得デバイスや方向取得デバイスは、それぞれ同じイベントを発生させる。たとえば、地磁気センサやジャイロセンサなど、方角を取得するデバイスが変化を検出した場合、どちらのデバイスを制御するプラグインも ROTATE イベントを発生させるため、共通のフォーマットで方位を取得できる。また、RFID で位置を取得する場合、RFID プラグインがネットワークを通して配信されたデータを用いて ID と緯度・経度のマッピングを行い、MOVE イベントを発生させる。

3.2 シーンへの参加判定

ウェアラブルナビゲーションでは、コンテンツ提示のトリガをシーンへの参加と定義した。本節では、シーン参加の判定条件について述べる。提案システムでは、看板のように向きがある物体に対応できるように、ユーザの視界およびシーンの形を扇形で定義する。判定方法を図 5 に示す。図に示すように、ユーザおよびシーンは、緯度 (LATITUDE)・経度 (LONGITUDE)、方角 (DIRECTION)、角度 (RANGE)、距離 (RADIUS) からなる領域を持つ。ユーザとシーン双方がお互いの領域内に存在している場合にユーザがそのシーンにいと判断する。図 5 (a) では、シーンの基点がユーザの領域内に存在しているが、ユーザの基点がシーンの領域に含まれていないため、ユーザはそのシーンにいないと判定される。一方、図 5 (b) ではシーンとユーザの基点がお互いの領域内に存在し

表 1 プラグインの詳細
Table 1 Details of plug-ins.

データベースプラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	SELECT	データ参照
	INSERT	タプルの挿入
	DELETE	タプル削除
	UPDATE	タプル更新
ACTION	QUERY	データベース操作
共通プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	CMN_START CMN_TIMER	システム開始直後に発火 タイマの発火
ACTION	CMN_EVENT	任意のイベントを発生
	CMN_DISPLAY_MESSAGE	メッセージの表示
	CMN_SETTIMER	タイマの設定
	CMN_KILLTIMER	タイマの破棄
	CMN_ADDRULE	ルールの追加
	CMN_LOAD_PLUGIN	プラグインのロード
	CMN_UNLOAD_PLUGIN	プラグインのアンロード
システム情報取得プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	SYS_POWER_CHANGED SYS_ENUM_DEVICE	電源状態の変更 デバイスの列挙
ACTION	SYS_STANDBY SYS_ENUM_DEVICE SYS_ENABLE_DEVICE SYS_DISABLE_DEVICE	システムのスタンバイ デバイスの列挙 デバイスの有効化 デバイスの無効化
ネットワークプラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	NET_RECEIVE	データの受信
	NET_ENDFILERECEIVE	ファイルの受信完了
ACTION	NET_ENDFILESEND	ファイルの送信完了
	NET_UNICAST_SEND	データの送信
	NET_BROADCAST_SEND	データのブロードキャスト
	NET_FILE_SEND	ファイルの送信
現在位置取得 (GPS) プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	MOVE	現在位置の変更
方向取得 (モーションセンサ) プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	ROTATE	方向の変化
ACTION	SET_DEFAULT	センサの初期化
RFID プラグイン		
機能の種類	機能名	説明
EVENT	MOVE DETECT	タグによる移動検出 RFID タグを検出

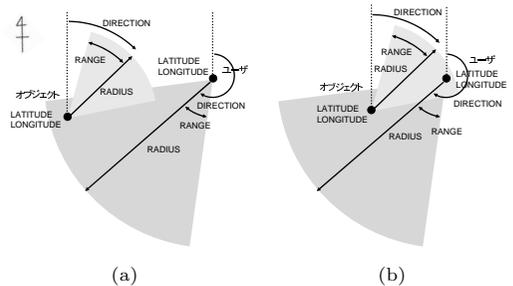


図 5 シーンへの参加判定
Fig. 5 The criterion of entering a scene.

ているため、シーン内にいると判断される。

ナビゲーションエンジンは、表形式でナビゲーションコンテンツベースに格納された各シーンの情報を利用する。ナビゲーションコンテンツベースは、位置情報とシーン情報を位置テーブルとシーンテーブルにそ

表 2 位置テーブルのスキーマ

Table 2 The schema of location table.

属性名	説明
ID	位置を一意に識別する ID
LATITUDE	緯度
LONGITUDE	経度
DIRECTION	方角
RADIUS	半径
RANGE	角度の範囲

表 3 シーンテーブルのスキーマ

Table 3 The schema of scene table.

属性名	説明
ID	シーンを一意に識別する ID
POS	シーンの位置を示す位置テーブルの ID
XML	シーンの詳細

```

DEFINE OnRotate
WHEN ROTATE
IF !CMN.IS_IN_BOUND[NEW.DIR, OLD.DIR, 10]
THEN DO DB_QUERY('SELECT * FROM PositionTable WHERE
LATITUDE > %GPS.LATITUDE% - RADIUS
AND LATITUDE < %GPS.LATITUDE% + RADIUS AND
LONGITUDE > %GPS.LONGITUDE% - RADIUS
AND LONGITUDE < %GPS.LONGITUDE% + RADIUS')

DEFINE OnMove
WHEN MOVE
IF !CMN.IS_IN_BOUND[NEW.LONGITUDE, OLD.LONGITUDE, 0.001]
OR !CMN.IS_IN_BOUND[NEW.LATITUDE, OLD.LATITUDE, 0.001]
THEN DO DB_QUERY('SELECT * FROM PositionTable WHERE
LATITUDE > %NEW.LATITUDE% - RADIUS
AND LATITUDE < %NEW.LATITUDE% + RADIUS AND
LONGITUDE > %NEW.LONGITUDE% - RADIUS
AND LONGITUDE < %NEW.LONGITUDE% + RADIUS')

DEFINE CheckPosition
WHEN DB_SELECT(PositionTable)
IF ?CMN.IS_OBJECT_VISIBLE(GPS.LONGITUDE, GPS.LATITUDE,
0.05, DIR.ALPHA_NORTH, 60, NEW.LONGITUDE, NEW.LATITUDE,
NEW.RADIUS, NEW.DIRECTION, NEW.RANGE)
THEN DO DB_QUERY('SELECT * FROM SceneTable
WHERE POS = %NEW.ID%')

DEFINE DoNavigation
WHEN DB_SELECT(SceneTable)
THEN DO CMN_ALERT('シーン%NEW.ID%にいます')

```

図 6 シーンを判定するルール

Fig. 6 ECA rules for decision of a scene.

れぞれ格納している。各テーブルのスキーマを表 2、表 3 に示す。シーンテーブルの POS 属性には、そのシーンの領域を示す位置テーブルのデータの ID を設定する。また、XML 属性にはユーザの計算機のデバイス構成と提示するコンテンツの組を XML 形式で格納する。XML 属性の詳細については次節で述べる。

A-WEAR を用いてシーン判定を行うルールを図 6 に示す。ルール *OnRotate* はユーザの向いている方角が 10 度以上変化した場合に、ルール *OnMove* はユーザの位置が 0.001 度以上変化した場合に付近にあるシー

```

<CONTENTS DEVICE="BBBAABCCCC" TYPE="SOUND"
PARAM="FILE=http://192.168.0.1/navi01.wav" />
<CONTENTS DEVICE="ACCCCCCCCC" TYPE="WEBPAGE"
PARAM="URL=http://192.168.0.1/navi01.html" />

```

図 7 デバイス構成とコンテンツの対応関係の記述例

Fig. 7 An example of contents description.

表 4 ビューアテーブルのスキーマ

Table 4 The schema of viewer table.

属性名	説明
TYPE	コンテンツのタイプ
VIEWER	ビューアのアクション
PARAM	ビューアに渡すパラメータ

ンを位置テーブルから検索する。ルール *CheckPosition* は、検索されたシーンの中で、提示すべきものをシーンテーブルから検索する。ルール *DoNavigation* は、検出されたシーン ID を表示する。

3.3 デバイス構成によるコンテンツの決定

ユーザのデバイス構成と対応するコンテンツの組は、シーンテーブルの XML 属性に記述する。ユーザのデバイス構成は、画像表示デバイス (HMD, 腕時計型などの小型ディスプレイ)、音声出力デバイス (ヘッドフォン, スピーカ)、アクチュエータ (パイプレータ, ブザー, ライト) に対して (A) ユーザの計算機に接続されている (B) 接続されていない (C) どちらでもよい、のいずれかを割り当てることで指定する。指定は、「画像表示デバイスがあるとき」といったジャンル指定や「スピーカがあるとき」といった個別指定が可能である。デバイス構成とコンテンツの内容を記述した XML の記述例を図 7 に示す。CONTENTS タグは 1 つのコンテンツを示し、DEVICE 属性にはデバイス構成の条件を記述する。先に記述されたコンテンツほど優先的に表示される。図のように、DEVICE 属性に BBBAABCCCC と記述した場合、ユーザが画像表示デバイスを接続しておらず (BBB), ヘッドホン装着しており (AAB), アクチュエータはあってもなくてもかまわない (CCCC) と解釈される。XML の TYPE 属性にはコンテンツの種類を記述し、そのほかに、コンテンツの種類に応じた属性を記述する。ナビゲーションエンジンは、計算機のデバイス構成と各コンテンツに記述されたデバイス構成を比較し、最適なコンテンツを決定する。

3.4 ナビゲーションビューアの決定

表示すべきコンテンツが決定すると、ナビゲーションエンジンは表 4 に示すビューアテーブルを用いてコンテンツを表示するナビゲーションビューアを決定する。

```

DEFINE DecideViewer
WHEN DISPLAY_NAVIGATION
THEN DO CALL_VIEWER(
  DB.ViewerTable.VIEWER TYPE=%NEW.TYPE%,
  DB.ViewerTable.PARAM TYPE=%NEW.TYPE%, %NEW.PARAM%)

```

図 8 ビューアを決定するルール

Fig. 8 ECA rules for decision of a viewer.

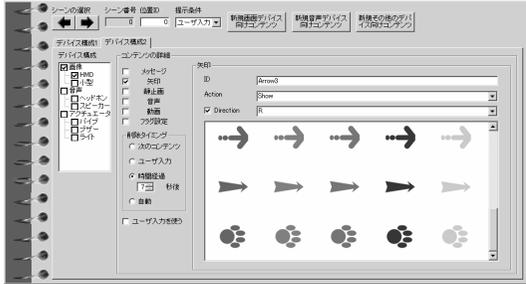


図 9 シーンエディタの表示例

Fig. 9 A snapshot of the scene editor.

ビューアを決定するルールを図 8 に示す. ビューアテーブルの TYPE 属性はコンテンツ内容を記述する XML 内の属性値であり, VIEWER 属性はナビゲーションビューアを特定するビューア名を示す. PARAM 属性はナビゲーションビューアへ渡すパラメータのフォーマットを示す. ナビゲーションエンジンに新たなナビゲーションビューアが追加されたときには, ビューアテーブルにタプルを追加することで対応できる. また, ユーザはビューアテーブルをカスタマイズしてコンテンツに対応付けられたビューアを変更できる.

3.5 シーンエディタ

ウェアラブルナビゲーションのコンテンツは, 柔軟なサービスを提供するために設定すべきパラメータが多い. そこで, コンテンツ作成の負荷を軽減するためにシーンエディタを構築する. シーンエディタの表示例を図 9 に示す. シーンエディタは, 表 2, 表 3 に示す位置テーブルとシーンテーブルのデータを作成するためのエディタであり, 新たなデバイス構成への対応や, 提示するコンテンツの選択を容易に行える. また, コンテンツエディタは A-WEAR と連携して GPS や地磁気センサのデータを取得できるため, 作成したコンテンツの提示位置を現場に行ってセンサの値を見ながら決定したり, 現場でコンテンツの表示位置と表示内容を同時に決定したりするなど, 実際の環境を見ながらコンテンツが作成できる. さらに, 提示条件を設定することで, ユーザが入力を行ったときや, 特定のフラグが ON のときにコンテンツを提示するといった条件を設定できる.



(a) 矢印の表示

(b) パピリオンの説明



(c) 現在地の表示

(d) クイズの表示

図 10 万博公園システムの表示例

Fig. 10 A snapshot of the navigation system for Expo'70 Commemoration Park.

4. 実装と実運用

本章では提案システムの実装について述べ, 次に実装したプロトタイプシステムを用いて構築したナビゲーションコンテンツについて説明する.

4.1 システムの実装

本研究では, 3 章の設計に基づき, プロトタイプシステムを実装した. A-WEAR およびデータベースプラグイン, GPS プラグイン, 地磁気センサプラグインは既存のものを用いた. また, 共通プラグインには拡張を加え, ユーザとオブジェクトの領域判定を行えるようにした. プラグインの実装には Microsoft 社の Visual C++ .NET 2003 Enterprise Architect を用いた.

4.2 ナビゲーションコンテンツの作成例

実装したナビゲーションエンジンを用いて, ナビゲーションシステムを作成した. 以下, 構築したシステムについて述べる.

4.2.1 万博公園案内システム

大阪府吹田市の万博記念公園においてユーザに 1970 年の万国博覧会当時の様子を紹介するナビゲーションコンテンツを作成した. コンテンツの表示例を図 10 に示す. ユーザの位置取得には GPS と地磁気センサを用いる. ユーザはナビゲーションに従って公園内を散策し, 分岐点に到達すると道案内の矢印が提示される (図 10 (a)), 万国博覧会時代にパピリオンが設置されていた位置 (現在は記念碑が置かれている) にさしかかるとパピリオンを紹介するコンテンツが自動的に再生される (図 10 (b)). コンテンツは図 11 に示す配置で 60 個 (矢印が 19 個, クイズが 18 個, パピリオン

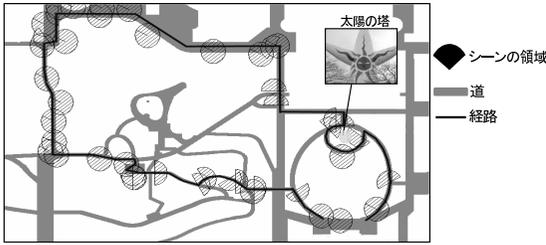


図 11 万博公園システムのコンテンツ配置

Fig. 11 Contents location of the navigation system for Expo'70 Commemoration Park.

解説が 23 個) 作成した。コンテンツは、画像と文字、音声で紹介する通常のコンテンツのほかに、盲人向けにコンテンツを音声のみで表現したコンテンツ、聾啞者向けに手話ビデオを含んだコンテンツを作成した。実際に提示されるコンテンツはユーザのウェアラブルコンピュータの機器構成によって自動的に選択され、画像出力デバイスと音声出力デバイスが接続されていれば通常のコンテンツ、音声出力デバイスのみが接続されていれば音声コンテンツ、画像出力デバイスのみが接続されていれば手話コンテンツが再生される。

ナビゲーションビューアは Macromedia 社の Flash MX で実装した専用のものを用いた。このナビゲーションビューアは、ナビゲーションコンテンツを表示する機能に加えて、ユーザからの要求があったときにユーザの向いている方向にあわせて現在地を地図で表示する機能 (図 10 (c)) や、3 択クイズを提示する機能 (図 10 (d)) を持っている。

作成したナビゲーションコンテンツは 2004 年 3 月 25 日に万博記念公園で開催されたサイバーコミュニケーション 2004¹⁾ において実際に運用した。サイバーコミュニケーション 2004 は公園案内のバリアフリー化を目指す取り組みに関するシンポジウムで、講演と並行してナビゲーションシステムの実証実験を行った。体験者は、招待された身体障害者 20 人、公園を訪れた一般客やシンポジウム参加者約 80 人で、1 周 1 時間程度のナビゲーションを 6 時間にわたって行った。

使用した機器を図 12 に示す。ウェアラブルコンピュータには自作の小型計算機 4 台および SONY VAIO PCG-U3 4 台を使用し、HMD には島津製作所の Data Glass 2、GPS には RIGHT STUFF GPS-USB-RA、地磁気センサには Sensation 社の Vector-Cube (VC-03) を用いた。さらに、計算機の操作用に 2 つのスイッチからなる小型入力デバイスを自作した。参加者はリュックに計算機を入れ、GPS を肩に、地磁気センサを HMD に固定してナビゲーションを体験した。

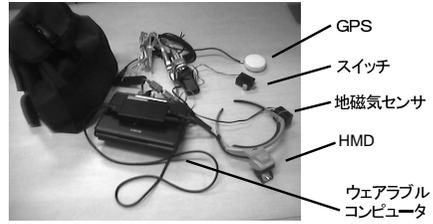


図 12 実運用したウェアラブルコンピュータ

Fig. 12 A wearable computer used in practical use.



図 13 研究室案内システムの表示例

Fig. 13 A snapshot of a navigation system for our laboratory.



図 14 研究室案内システムの利用

Fig. 14 A snapshot of using a navigation system for our laboratory.

4.2.2 研究室案内システム

筆者らの所属する研究室において、訪問者に研究室の案内や研究者に関する情報を提示するナビゲーションコンテンツを作成した。コンテンツの表示例を図 13 に、研究室案内システムを利用している様子を図 14 に示す。屋内での位置取得に GPS を用いることは困難であるため、ユーザの位置取得には RFID タグとリーダを用いる。研究室の各所に RFID タグを設置し、研究室を訪問したユーザは RFID リーダをウェアラブルコンピュータに接続してコンテンツを利用する。ナビゲーションビューアとしては Web ブラウザを用いた。ユーザが身に着けた RFID リーダが RFID タグを発見するとその ID に対応した位置を取得し、研究室の入り口では研究室内の配置図の Web ページを、



図 15 博物館案内システムの利用

Fig. 15 A snapshot of using a museum navigation system.

研究者の机であればその研究者の取り組んでいる研究内容の紹介の Web ページや研究者が席を外しているときには今どこにいるかを表示する Web ページを提示する。

4.2.3 博物館案内システム

博物館や美術館において、利用者に展示品に関する情報を提示するナビゲーションコンテンツを作成した。博物館案内システムの利用イメージを図 15 に示す。ユーザの位置取得にはバーコードを用いる。博物館などに入館する際にバーコードリーダーを貸し出し、ユーザが展示品に付与されたバーコードをリーダーで読み取ると、その展示品に関する詳しい情報のコンテンツを提示する。博物館においては、ユーザの移動に応じて能動的にコンテンツを提示するとユーザの鑑賞の妨げとなる可能性があるため、バーコードを用いることで、ユーザが必要とする情報のみを求められたタイミングで提示できるようにした。ユーザの目は一般に展示品に注目していると考えられるため、コンテンツは MP3 プレーヤをナビゲーションビューアとして音声で提示されるところとしたが、ユーザが HMD を装着した場合はメディアプレーヤをナビゲーションビューアとしてムービーコンテンツが提示される。

5. 考 察

5.1 利用者による評価実験

4 章で述べた万博公園案内システムの利用者のうち 39 人にアンケートを行った。アンケートは、あらかじめ用意した質問に 5 段階（1 が最低、5 が最高）で答えるものであり、そのほかに自由に意見を書く欄も用意した。アンケートの集計結果を表 5 に示す。

質問 2～5 はウェアラブルコンピュータのハードウェアに関する質問、質問 6～9 はウェアラブルナビゲーションの有効性に関する質問である。結果から、ハードウェアに関しては端末自体の重さはそれほど問題ではないものの、ケーブルが邪魔であったり HMD の画

表 5 アンケートの結果

Table 5 The aggregate result of the enquete.

質問	結果の平均
1. 普段計算機を利用するか	4.1
2. 機材を持つことは負担にならないか	3.4
3. ケーブルは邪魔にならないか	2.2
4. 画面は見やすかったか	2.3
5. 操作しやすかったか	3.0
6. HMD による情報提示は便利か	3.9
7. 道案内は万博理解の助けになったか	3.5
8. ガイドブックと比べて便利か	3.5
9. ガイドブックと比べて面白い	4.0

面が見にくいなど、今後のさらなる改善が必要であることが分かる。提案するナビゲーションエンジンは、機器構成の変化や新たな機器への対応を容易にする柔軟性を備えているため、今後の拡張にも十分対応できる。一方、ウェアラブルナビゲーションの有効性に関しては高評価が得られた。いちいちガイドブックをめくって情報を調べる必要がないという能動的なコンテンツ提示が有効に働いたためだと考えられる。便利で面白いという意見が多かったことから、本稿で提案するウェアラブルナビゲーションの枠組みでユーザが満足するナビゲーションコンテンツが提供可能であることが分かった。自由意見としては、ショッピングセンタで利用したい、音声認識で制御したい、チャットの機能が欲しい、複数人で移動するときに情報を共有したいといった意見を得た。これらの要求は、ナビゲーションエンジンで実現可能であり、今後はこのような機能を持つナビゲーションビューアを構築してさらに便利なナビゲーションエンジンを提供することが課題となる。

5.2 関連研究

MARS³⁾、TOWNWEAR⁹⁾、VizWear⁴⁾、小田島らのシステム⁷⁾など、ウェアラブルシステムに関する研究が数多く行われている。これらのシステムは、デバイスを固定して特定の機能に特化することで、HMD を通して見ている現実空間上に仮想オブジェクトやアノテーションを合成するといった高度な情報提示能力を備えている。これらのシステムは GPS や地磁気センサ、ジャイロセンサからの入力に応じて自動的に情報を提供するため能動性を持つが、利用するセンサが固定されており、ユーザによるカスタマイズも考慮されていないため、デバイス柔軟性およびカスタマイズ性を欠く。また、コンテンツ作成を容易にする方法に関して考慮されていない。

地理情報システムを基盤とした情報配信に関する研究も行われている¹⁰⁾。地理情報システム (GIS: Geo-

graphic Information Systems) とは、デジタル化された地図をベースに、さまざまな情報を付加して加工・分析し、人間に分かりやすい形にビジュアル化するシステムである。これらの研究では、さまざまな施設から放送されている地理情報を携帯端末を用いて受信し、ユーザのナビゲーションや交通情報の提示などさまざまなサービスを実現している。地理データのフォーマットは G-XML²⁾ や GML⁸⁾ などが標準化されており、データ作成ツールを用いることでコンテンツを容易に作成できる。しかし、これらのデータ形式はウェアラブル環境における多様な出力デバイスに対応した柔軟な情報提示には適しておらず、またシステムは携帯端末を対象としているため、デバイス柔軟性やカスタマイズ性は考慮されていない。

6. ま と め

本研究では、ウェアラブル環境におけるイベント駆動型ナビゲーションプラットフォームを構築した。提案システムはイベント駆動型システム A-WEAR を用いることで能動的にユーザに情報を提示する。また、計算機のデバイス構成に応じてコンテンツを選択したり、提示方法をユーザにカスタマイズさせたりするなど、柔軟なナビゲーションを実現できる。さらに、センサデータをもとにコンテンツを作成できるシーンエディタを構築し、ナビゲーションコンテンツを容易に作成できるようにした。

実装したプロトタイプシステムは、万博記念公園での運用を含めいくつかのナビゲーションコンテンツに実際に利用し、その有効性を明らかにした。今後は、複雑なナビゲーションシナリオを実現する新たな言語およびエディタの提案を行い、多数のコンテンツを作成していく予定である。

謝辞 万博記念公園コンテンツの製作にあたり、ナビゲーションビューアを構築していただいたウェストユニティス社の平岡圭介氏および福田登仁氏に深謝する。本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))「大規模な仮想空間システムを構築する放送型サイバースペースに関する研究」(プロジェクト番号: 15300033)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) サイバーコミュニケーション 2004 ホームページ.
http://www.teamtsukamoto.com/cyber2004/
- 2) G-XML Web Page. http://gisclh.dpc.or.jp/

gxml/contents-e/index.htm

- 3) Hollerer, T., Feiner, S., Terauchi, T., Rashid, G. and Hallaway, D.: Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System, *Computers and Graphics*, Vol.23, No.6, pp.779-785 (1999).
- 4) Kurata, T., Okuma, T., Kourogi, M., Kato, T. and Sakaue, K.: VizWear: Toward Human-Centered Interaction through Wearable Vision and Visualization, *PCM2001 in Beijing, China*, pp.40-47 (2001).
- 5) Minpaku Digital Guide Web Page. http://www.minpaku.ac.jp/english/exhibitions/permanent/digiguide/
- 6) Miyamae, M., Terada, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: Design and Implementation of an Extensible Rule Processing System for Wearable Computing, *1st Annual Int'l Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (MobiUbiquitous 2004)* (Aug. 2004, to appear).
- 7) 小田島太郎, 屋外型ウェアラブル注釈提示システム, 画像電子学会誌, Vol.32, No.6, pp.832-840 (2003).
- 8) OpenGIS Geography Markup Language (GML) Implementation Specification, http://www.opengis.org/docs/02-023r4.pdf
- 9) 佐藤清秀, 穴吹まほろ, 山本裕之, 田村秀行: 屋外装着型複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.129-137 (2002).
- 10) 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: アクティブデータベースを用いた地理情報システム, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.11, pp.3103-3113 (2000).
- 11) 塚本昌彦: モバイルコンピューティング, 岩波書店 (2000).

(平成 16 年 6 月 15 日受付)

(平成 16 年 10 月 4 日採録)



宮前 雅一

2001 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科情報システム工学科目卒業。2003 年同大学院工学研究科情報システム工学専攻博士前期課程修了。同年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程進学、現在に至る。ウェアラブルコンピューティングに関心を持つ。



寺田 努 (正会員)

1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手、現在に至る。2002年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手を併任。アクティブデータベース、モバイルコンピューティング、データ放送の研究に従事。



岸野 泰恵 (学生会員)

2002年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科情報システム工学科目卒業。2004年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。現在、同専攻博士後期課程に在籍。ユビキタスコンピューティング、ヒューマンインタフェースに興味を持つ。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師、1996年同専攻助教授、2002年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり、現在に至る。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等8学会の会員。



西尾章治郎 (フェロー)

1975年京都大学工学部数理工学科卒業。1980年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授、大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て、2002年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり、現在に至る。2000年より大阪大学サイバーメディアセンター長、2003年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任。この間、カナダ・ウォータールー大学、ピクトリア大学客員。データベース、マルチメディアシステムの研究に従事。現在、Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery等の論文誌編集委員。情報処理学会フェローを含め、ACM, IEEE等9学会の会員。