

装着型センサを用いた経路推薦機構を持つ ナビゲーションシステムの構築

片山 拓也^{†1} 村尾 和哉^{†1} 田中 宏平^{†1}
寺田 努^{†2} 西尾 章治郎^{†1}

近年、公園でのスタンプラリーや遊園地でのアトラクション巡回など、イベント空間内におけるポイント巡回型のサービスが提供されている。イベント参加者は「遠回りしたくない」、「体験したいアトラクションを回りたい」といった各々の意志で行動しているが、参加者の意志のみに任せた運営は、特定アトラクションの混雑や、ラリーの早期終了・遅延を招く可能性がある。そこで本研究では、参加者の行動を緩やかに制御できる環境を想定し、「一定時間内でラリーを終わらせたい」、「効率良くポイントを回らせてイベント完遂者を増やしたい」といった主催者の意図を考慮した経路推薦機構を持つナビゲーションシステムを提案する。提案システムを実運用した結果、参加者はイベント主催者の目的に沿って行動すること、また、装着型センサを用いて参加者の情報を収集した場合にシステムがより有効に動作することを確認した。

Construction of a Navigation System with a Route Planning Algorithm Using Body-worn Sensors

TAKUYA KATAYAMA,^{†1} KAZUYA MURAO,^{†1}
KOHEI TANAKA,^{†1} TSUTOMU TERADA^{†2}
and SHOJIRO NISHIO^{†1}

There are many kinds of event spaces such as stamp rally and amusement spot. In these events, the participants behave as they want and it causes problems for the event managers, such as too long necessary time or the congestion of specific attractions. In this paper, we propose a navigation system that has a route planning algorithm to satisfy the purposes for the event manager. The result of actual use in our system beared out that the participants behaved according to the purposes of the event manager. Moreover, by using a wearable computer and wearable sensors, participants' real-time information are acquired and our system performs better.

1. はじめに

現在、街中や公園におけるスタンプラリーやウォークラリー、アミューズメントスポットにおけるアトラクション巡回などイベント空間内に設置されたポイントを回るサービス（以降、ポイント巡回型サービス）がさまざまな場所で提供されている。これらのイベント空間では、たとえば、スタンプラリーでスタンプの数などの条件を満たしながら効率良く自分の好きなポイントを回る、あるいはアトラクション巡回で体験したいアトラクションを効率良く回るように参加者はそれぞれの意思をもって行動する。しかし、このようなイベントを参加者の判断だけに任せると、以下のようなイベント主催者側にとっての問題が発生する。

- 特定の経路やアトラクションへの人が集中するため、参加者の満足度が低下したり、主催者が通過してほしいポイントへ人が来なくなったりする。
- 時間限定のイベントへ参加者を誘導することが難しい。
- 効率良く巡回しすぎることによりイベントが早く終了しすぎ、参加者に物足りない印象を与えてしまう。
- イベントの完了に時間がかかりすぎ、疲労の蓄積や参加者の時間の都合のために、イベント脱落者が増加する。

そこで本研究では、これらの問題を解決するために、ポイント巡回型サービスにおける主催者の意図を考慮した経路制御機構を持つナビゲーションシステムを提案する。提案システムは「一定の時間内でラリーを終わらせたい」、「イベント場内をくまなく回ってほしい」といったイベント主催者の目的をスコア化し、ゴールまでの最適な経路に沿って参加者を緩やかに誘導する。参加者は必ずしもシステムの指示に従う必要はなく、またシステムはゴールまでの全ポイントではなく次の推薦ポイントのみを提示するため、参加者はシステムの制御を意識することなくイベントを満喫できる。

筆者らは、提案システムのプロトタイプを2007年6月3日に大阪府吹田市大阪万博公園で開催された「モバイルネイチャーラリー in 万博公園」において運用した。実運用の結果、ランダムに次のポイントを指示する手法と比較して、提案手法を適用した参加者は主催者の目的を満たすことが分かった。さらに、装着型センサを用いてリアルタイムに参加者の状況

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{†2} 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

を取得することでシステムがより有効に動作することを確認した。

以下、2章で関連研究を紹介し、3章で提案システムについて説明する。4章で実運用評価について述べ、5章では評価から明らかとなったシステムの問題点の解決法および装着型センサの利用について説明する。6章でシミュレーションでの評価結果について述べ、最後に7章で本研究のまとめを行う。

2. 関連研究

ナビゲーションシステム

提案システムは携帯電話や装着可能なコンピュータ（以下、ウェアラブルコンピュータ）を用いてイベント参加者を案内する。これまでに携帯電話のGPS機能を用いてナビゲーションを行うP-tour¹⁾や、香川県の観光地における観光案内システム²⁾、ウェアラブルコンピュータを用いた大阪万博記念公園の案内システム³⁾などが提案されている。

たとえばP-tourでは、ユーザが複数の希望する観光候補地と時間制約を設定すると、制限時間内で巡回可能かつ最も満足度が高くなる経路をユーザに提示する。また観光案内システムでは、香川県の金刀比羅宮と栗林公園において、GPS内蔵型携帯電話に周辺にある観光スポットの情報を表示する。大阪万博記念公園の案内システムでは、ユーザが操作をしなくても能動的にユーザに万博のパビリオン情報・ナビゲーション情報を提示する。

これらのシステムは参加者の意向に沿った経路推薦やサービスを行うが、イベント主催者の目的や意図を反映させるシステムは筆者らの知る限りこれまで提案されていない。またP-tourにおいてはユーザの移動速度はあらかじめ定めた一定の歩行速度を用いており、イベントに参加している間の情報を用いて精度良く経路を選択する機構は存在していない。

ウェアラブルコンピューティング

近年、コンピュータを常時身に装着して生活するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。さまざまなセンサやコンピュータを身に装着するウェアラブルコンピューティングは、従来のコンピュータの利用形態と比較してハンズフリー情報閲覧や、常時電源ONといった特徴を持つ^{4),5)}。このような環境では、コンピュータはユーザが装着している各種センサから得られたデータを用いてユーザの行動や状況を認識し、健康管理支援⁶⁾、適応的な情報提示⁷⁾、装着型ディスプレイを用いたナビゲーション⁸⁾などさまざまなサービスを実現している。提案システムは、これらの研究と同様、装着型センサを用いることでサービスを高度化する取り組みの1つといえる。

3. システムの設計

3.1 想定環境

提案システムはポイント巡回型サービスでの利用を想定している。参加者は各ポイントで携帯電話やウェアラブルコンピュータを使ってQRコードを読み込むことによってポイントに対応したWebサイトにアクセスする。各Webサイトではそのポイントに関する情報やクイズなどのコンテンツを表示した後、次に移動すべきポイントを提示する。ただし、この提示は推奨ポイントであり、参加者はこの指示に必ずしも従う必要はない。

また、イベントにおいて主催者の意図はスコアとして表現可能であり、参加者に次のポイント候補を提示してもゲームの面白みが減少しない環境を想定する。たとえば、ある地点でクイズを行って、「正解がAだと思う人は地点2へ、正解がBだと思う人は地点3へ向かう」といったように、経路の決定がゲーム要素になっているようなものでは提案システムは利用できないため想定しない。

3.2 システム構成

提案システムの構成を図1に示す。システムはWebページ、データベース、経路探索プログラムからなり、経路探索プログラムを目的に応じて変更することでイベント主催者のさまざまな意図を反映させる。またデータベースには参加者のポイント通過履歴、各ポイント間の距離および標準的な所要時間、ポイント到着時の表示コンテンツが格納される。

イベント参加者がポイント到着時に各自の端末を用いてWebサイトにアクセスすると、

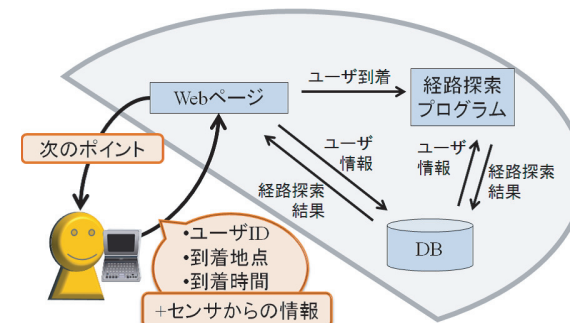


図1 システム構成
Fig.1 System structure.

サーバは参加者のユーザ ID, ポイント ID および到着時刻をデータベースに格納する。ウェアラブルコンピュータを用いてイベントに参加している場合は各種装着型センサからの情報も送信する。またユーザがポイントに到着すると同時に、経路探索プログラムはイベント主催者の意図を最大限に満たすゴールまでの経路を探索し、次に行くべき推奨ポイントを提示する。ここで、経路全体ではなく次のポイントのみを提示することで、参加者はその後のポイント到着時に起こりうる最適な経路の変更を意識しないで済む。

提案システムでは装着型センサからの情報の処理にコンテキストツール⁹⁾ および Wearable Toolkit^{10),11)} を利用する。コンテキストツールは装着型センサから得られるセンシングデータの特徴量を抽出し、あらかじめ登録しておいた歩行、停止、階段昇降といった行動を認識する。Wearable Toolkit はウェアラブルコンピューティングシステムを容易に構築するためのアプリケーションプラットフォームである。提案システムでは、コンテキストツールを用いて参加者の「移動」および「停止」の 2 種類のコンテキストを取得する。Wearable Toolkit ではコンテキストのログを溜めておき、ユーザが QR コードを読み込んで Web サーバに接続し、ユーザ ID などを送信すると同時に、コンテキストのログをサーバに送信する。サーバは「停止」している時間をユーザの休憩時間としてデータベースに記録する。

3.3 スコアの定義

主催者の要求に対応するためにシステムで用いるスコア例を以下に示し、その計算方法について説明する。これらのスコアは小さいほど主催者の意図を満たしているとする。

時間相違スコア

時間相違スコア S_T とは予想終了時間と目標終了時間との乖離度であり、経路 R を通ったときの時間相違スコア S_{T_R} は、ゴールまでの予想到達時間 T_R と目標到達時間までの残り時間 T' を用いて次式で定義される。なお、「終了時間」とはスタートからゴールまでの時間を、「到達時間」とは現在地からゴールまでの時間を表す。

$$\begin{aligned} \text{if}(T_R > T') \quad S_{T_R} &= (T_R/T')^2 \\ \text{else} \quad S_{T_R} &= (T'/T_R)^2 \end{aligned}$$

時間相違スコアの計算に、スタートからではなく現在のポイントからの時間を用いることで、スタートからの時間経過につれてスコアの影響が大きくなるようにしている。

ここで、時間相違スコアを求めるためにはユーザのゴール到達時間を予想する必要がある。まず、全ポイント間の移動に要する基準時間（基準移動時間）があらかじめ求められており、またポイント間の移動時間が基準移動時間に対して閾値 α 倍以上である場合は、ユーザは休憩をとった、または道に迷ったと判断する。現在ユーザが n 番目のポイント p_n に到

着し、過去のポイント移動履歴を $H = (p_0, \dots, p_{n-1})$ とする。ただし、 p_0 はスタート地点である。ここで、 $p_{n-1}p_n$ 間の所要時間および基準移動時間を t_{p_n} および t'_{p_n} とし、 $p_{n-1}p_n$ 間の移動速度比 V_{p_n} を次式で定義する。

$$V_{p_n} = t_{p_n}/t'_{p_n}$$

V_{p_n} は値が大きいかほど実際にかかった時間の方が長く、歩く速度が遅いことを意味する。次に、 V_{p_n} をもとに、平均速度変化量 DV_{p_n} を次のように定義する。

$$DV_{p_n} = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} (V_{p_{k+1}} - V_{p_k})}{n-1}$$

DV_{p_n} は、ポイント間の移動速度比の変化量の平均値を表す。そして、ゴールまでの経路 $R = (p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{g+1})$ におけるゴール到達予想時間 T_R を次式に従い計算する。ただし g はスタートとゴールの間に訪問するポイント数とする。

$$T_R = V_{base} * (1 + DV_{p_n}) * \sum_{p_k \in R} t'_{p_k}$$

ここで V_{base} はユーザの移動速度の基準となる移動速度比であり、通常は最初のポイント間における移動速度比 V_{p_1} を用いる。ただし、 p_0p_1 間で休憩をとった、または道に迷ったと判断した場合、休憩などをしていない最初の移動速度比を用いる。また参加者がウェアラブルコンピュータを利用している場合には装着型センサを用いて認識した参加者の停止時間から、実際に移動に要した時間が得られるためゴール到達時間の予測がより正確になる。

混雑遭遇スコア

混雑遭遇スコア S_C は特定のポイントへの参加者の集中度を表す。経路 R における混雑遭遇スコア S_{C_R} は、次に推薦するポイントに現在いる参加者および次の推薦ポイントが同じである参加者の合計 n 、ポイントの許容量 cap を用いて以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \text{if}(n < cap) \quad S_{C_R} &= 0 \\ \text{else} \quad S_{C_R} &= n/cap \end{aligned}$$

距離相違スコア

距離相違スコア S_D は参加者に一定距離以上を歩かせるためのスコアであり、経路 R における距離相違スコア S_{D_R} は、実際の歩行距離 D_R と目標歩行距離 D' から次式で定義する。

$$\begin{aligned} \text{if}(D_R > D') \quad S_{D_R} &= 0 \\ \text{else} \quad S_{D_R} &= (D'/D_R)^2 \end{aligned}$$

場内未踏スコア

場内未踏スコア S_{A_R} はイベント空間内の全ポイントを複数エリアに分け、参加者が可能

な限りすべてのエリアを巡回させるためのスコアである．経路が1つのエリアを通過し損ねるたびにスコアに全エリア数の逆数を加え，また同一エリア内のポイントを2カ所連続で指定する場合には大幅にスコアを加点する．

地点未踏スコア

地点未踏スコア S_{PR} はイベント主催者が通過させたいポイントを訪問させるためのスコアであり，経路が通過させたいポイントを通し損ねるたびにスコアに全通過希望ポイント数の逆数を加える．加える値を大きくすればそのポイントを必ず通る経路を返すようになる．

ここで，スコアの中に目標との乖離度を二乗するものとしがないものがあるが，その違いは目標からの乖離度が指数的なのか，比例的なのかによって決定した．最終的に，次式に示すように，各スコアの合計が最小となる経路 R_{op} を決定する． $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ は各スコアに対する重みであり，イベント主催者の意図に応じて設定を変更する．

$$R_{op} = \arg \min_R (\alpha S_{TR} + \beta S_{CR} + \gamma S_{DR} + \delta S_{AR} + \epsilon S_{PR})$$

4. 実運用と評価

提案システムのプロトタイプを実際のイベントにおいて運用した．運用の詳細と評価結果を下記に示す．

4.1 イベント詳細

提案システムのプロトタイプを2007年6月3日に大阪府吹田市万博公園自然文化園で開催されたイベント「モバイルネイチャーラリー in 万博公園」¹²⁾において運用した．本イベントには171人の参加者が集まった．イベントの様子を図2に示す．ただし，本イベントでは携帯電話のみを用いており，ウェアラブルコンピュータを用いたシステムは6カ月後に実施した同様のイベントにおいて運用した．本イベントの参加者は，図3に示す公園内15カ所のポイントに設置されたQRコードを携帯電話を使って読み取り，各ポイントに対応したWebサイトにアクセスする．各Webサイトではそのポイントに関する情報を閲覧(図4(a))した後クイズに回答し(図4(b))，その後次に移動すべきポイントが表示される(図4(c))．参加者は15カ所のうち5カ所のポイントを回り，各ポイントでクイズに回答しながらゴールを目指す．クイズには3種類の難易度が設定されており，正解したクイズの難易度により異なる得点が得られる．スタート，ゴールは公園中央口に設定し，実際に使用したポイントは図3中の印で示す15カ所である．また5カ所用意された隠しポイント



図2 イベントの様子
Fig. 2 A snapshot in the event.

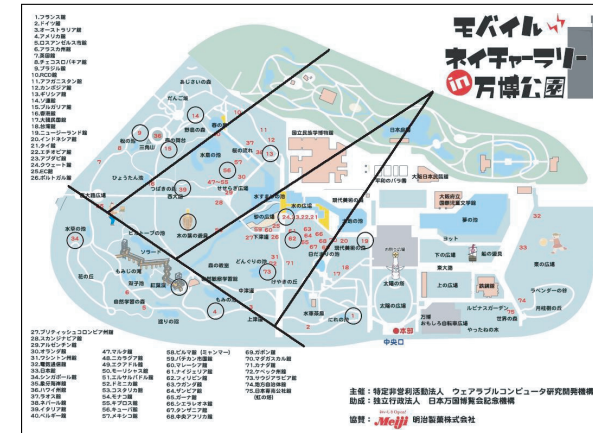
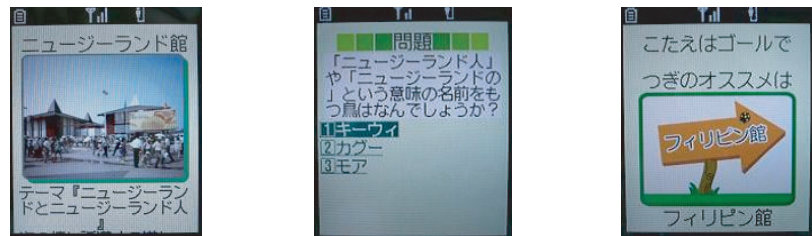


図3 イベント会場で配布した地図とポイントのグループ分け
Fig. 3 Points and areas for the event.

トを見つけるとボーナス点が加算される．ゴール時にクイズの正誤や歩行距離，所要時間，消費カロリーが記された認定証が渡される．

本イベントの主催者の要求事項として「ラリーの参加時間を一定にしたい」「イベント場



(a) ポイント情報 (b) クイズ (c) ポイント推奨

図 4 画面の表示例

Fig. 4 Examples of displaying messages.

内をくまなく回ってほしい」という 2 点があったため、スコアとして時間相違スコアと場内未踏スコアを用い、休憩を判断するための閾値 α は予備実験の結果から 3 とした。また、場内未踏スコアの計算に用いるエリアは図 3 に示す 5 つとした。

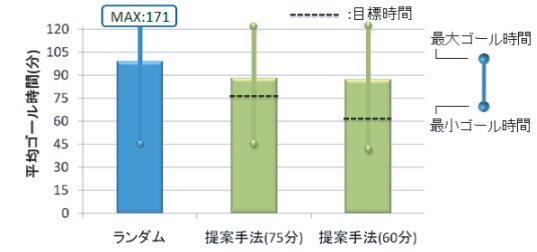
4.2 実運用結果

今回のイベントでは参加者を登録時に以下のように設定の異なる 3 つのグループに分類した。なお、参加者は 3 グループに分けられていることや制御されていることを知らない。

- Group 1: 目標終了時間は設定せず、ランダムに次のポイントを選択する。
- Group 2: 目標終了時間を 75 分として提案アルゴリズムを用いる。
- Group 3: 目標終了時間を 60 分として提案アルゴリズムを用いる。

運用結果を図 5 に示す。なお、従順率とは通過した全ポイントに対する、システムからの指示どおりに訪れたポイント数の割合を示す。また、システムがゴールを推薦した以後は参加者の制御が行えないため、最後の区間で休憩を挟んでいるとシステムに判断された場合は、その区間を基準移動時間で歩いたものとした。結果より、ランダムに次のポイントを示した場合と比較して、提案システムを用いた場合は通過エリア数が多く、また平均終了時間が短くなったことが分かる。一方、提案手法を用いても目標時間より遅れてゴールをしている参加者が多くいた。考えられる原因を以下に示す。

- 目標時間の設定
同じエリアを連続で指定しないという制約から、最短経路で回った場合でも基準移動時間は 68 分になり、目標時間 60 分という設定自体に無理があった。
- 休憩判断のアルゴリズム
ポイント間の移動に基準移動時間の 3 倍以上の時間を要した場合を休憩としたが、実



標準偏差	30分	25分	23分
通過エリア	71.1%	83.3%	76.4%
従順率	79.7%	90.0%	91.8%

図 5 各グループの結果

Fig. 5 Evaluation result.

表 1 アンケート内容

Table 1 Contents of questionnaire.

No	内容
1	万博公園にはよく来ますか？
2	ネイチャーラリーは楽しめましたか？
3	携帯電話に表示された説明やクイズは面白かったですか？
4	歩いた距離はちょうど良かったですか？(YES: 長い, NO: 短い)
5	ゴールするまでの時間はちょうど良かったですか？(YES: 長い, NO: 短い)
6	携帯電話に表示された次のおすすめポイントの指示には従いましたか？
7	今回のネイチャーラリーは、万博を理解する助けになりましたか？
8	ラリーを通じて、万博を満喫できましたか？
9	ラリーの途中で、休憩しましたか？
10	今後、同様のイベントがあればまた参加したいですか？

際のログから 5%程度のポイント間で不自然な時間の伸びが見られた。これらのポイント間でも実際には休憩していた、あるいは迷っていたと考えられる。

- 移動速度変化への対応
参加者の移動速度はある値に収束すると予測してアルゴリズムを設計したが、実際には、移動速度比はポイント間ごとにつねに変化しており、過去の全ポイント間の情報を総合的に見る必要があった。また、休憩判断アルゴリズムの不正確さにより、システムが計算した移動速度変化が実際の移動速度変化と大きく異なっている場合があった。参加者に対して実施したアンケート(表 1)の結果は図 6 に示すとおりとなった。下記

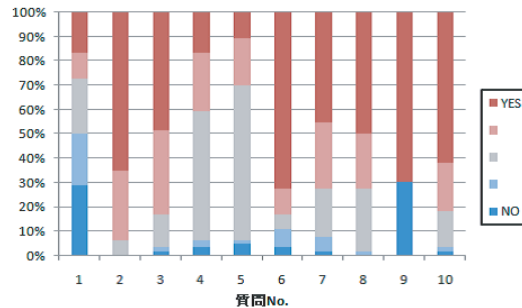


図 6 アンケート結果

Fig. 6 Result of questionnaire.

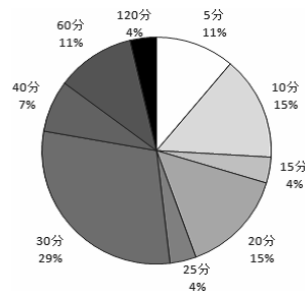


図 7 アンケート結果 (休憩時間)

Fig. 7 Result on rest period.

に考察する。

- 参加者の満足度の高さ

今回のイベントでは普段万博に来ない人も呼び込むことができ、イベントに対する満足度は高かった。また、クイズやラリーといったゲーム要素を採り入れることで参加者の万博公園に対する注意を促し、理解を促進したと考えられる。

- 参加者の従順率

今回のイベントでは、参加者の7割がシステムの指示につねに従っていた。従っていない参加者にその理由を自由回答で求めたところ、「次のポイントが遠かった」「全部回りたいので」「途中で他のポイントの前を通ったから」「行きたい所があった」という回答が得られた。これから参加者に明確な意図がある場合には参加者は指示に従わないということが分かった。これらの結果から、参加者が指示に従わないという行動をとれることで、参加者の満足度を保つ効果があったと考えられる。

- 参加者の休憩時間

70%程度の参加者が途中で休憩をしていた。また、休憩時間を自由回答で答えさせたところ、内訳は図7のようになった。グラフより、20～40分の休憩をはさんでいる参加者が多いことが分かる。これは予備実験の内容と一致している。

- 経路推薦機構

自由回答で感想を求めたところ、「行ったことのない所まで行けて満喫できた」という経路を推薦することに対するプラスの意見をいただいたが、同時に「指示された場所と違うところに行ってもよかったのか?」と参加者に思わせたなどマイナス効果もあるこ

とが分かった。指示があくまで推薦であることを強調する必要があると考えられる。また、参加者の行動ログから得られた知見を以下に示す。

- 参加者の移動速度比の変化

移動速度が上がった区間が51%、移動速度が下がった区間が49%と差は見られなかった。また、最も移動時間が長かったのは25%の参加者が5カ所目からゴールまでであり、4カ所目～5カ所目を含めると全体の46%となった。これらより、参加者は後半に向けてペースが落ちていくことが分かる。

- 参加者の不従順

参加者がシステムの指示に従わない理由の内訳と対策は下記のとおりとなる。

- (1) 次のポイントが遠い場合

参加者はアンケートで指示に従わなかった理由として「次のポイントが遠かったから」「途中で別のポイントを発見したから」という理由をあげていた。参加者の移動のログを見た結果、参加者の不従順のうち71%がこれらに該当した。これらについては、あまり遠いポイントを指示しないようにする、途中で別のポイントを含むポイントを指示しないようにする、といった対策が必要である。

- (2) 参加者に明確な意図がある場合

指示に従わなかった理由として「行きたいポイントがあったから」「全部のポイントを回りたかったから」という理由をあげている参加者もいた。参加者の移動ログから、参加者の不従順のうち21%が前者、8%が後者であると判断できた。具体的には、遊具などのアミューズメント性のあるポイントへ向かった参加者が前者に該当する。これらについては、特に提案システムでは問題であるとはとらえていない。これは、システムが出した推薦を参加者が断ることを可能にすることで、参加者が明確な目的を持ってイベントに参加した場合でも、その目的に沿ってイベントを遂行することを目指しているためである。

5. 装着型センサを用いたナビゲーションシステム

実験結果から得られた知見をもとに、システムを改良する。以下、システムの改善案および改善システムの実運用評価について述べる。

5.1 システムの設計

実運用結果から、参加者の移動速度は全ポイント間の情報を総合的に見る必要があることが分かった。そこで歩行距離と移動速度比の関係を線形近似する。具体的には、歩行距離と

基準移動時間が比例しているという想定に基づいて最小二乗法を用いて基準移動時間と移動速度比の関係を線形近似する．休憩または道に迷っていると判断されたポイント間は計算に含めない．近似式を以下に示す．

$$y(\text{移動速度比}) = a * x(\text{基準移動時間}) + b$$

$$a = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n ((y - \bar{y}) * (x - \bar{x}))}{\sum_{x=1}^n (x - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

この近似式から現ポイントからゴールまでの移動速度の変化を予測する．ただし，線形近似で求める予想移動速度比の上限，下限をそれぞれ 3, 1/3 に設定した．この上限は参加者の移動ログから，参加者が休憩をせずに移動をした場合，考えられる最も大きい移動速度比は 3 であったことから決定した，下限についても同様である．また，休憩時間を正確に判断するために，参加者の腰に装着した加速度センサを用いる．加速度の分散値から参加者が現在移動しているか，停止しているかを判断し，停止時間の合計を休憩時間とした．また，ポイント間の移動に基準移動時間の 2 倍以上を要している，かつ基準移動時間より 15 分以上要しているポイント間では参加者は道に迷っていると判断する．これらの値は改良前のシステムの実運用や予備実験の結果をもとに決定した．

5.2 改良後システムの実運用結果

前章と同様の条件でイベントを行いシステムを評価した．ただし，目標時間はランダム，75 分，90 分に設定した．各グループごとの結果を図 8 に示す．ゴール時間はゴール直前のポイントからゴールに到達するまでに休憩時間があった場合は除いてある．

結果から，ランダムに次のポイントを推薦するよりも目標時間に近く，なおかつ場内を広く回ってゴールしていることが分かる．また改良前と比較すると，目標ゴール時間を 75 分に設定した場合，改良前の 87 分から 78 分に改善できている．改良システムでは装着型センサを用いることで休憩に要した時間を正確に取得でき，また移動速度を線形予測するアルゴリズムを用いることで，正確にゴールまでの移動速度変化を予測できたことが分かる．

6. シミュレーション評価

今回のイベントで用いなかった混雑遭遇スコア，地点未踏スコア，距離相違スコアについてシミュレーション評価を行った．シミュレーションは参加者がポアソン平均到着率 50 人/時間で新規に参加するイベントを 10 時間行うとする．なお，参加者の移動速度は，まず基本となる移動速度比を平均 1，分散 1 の正規分布に従って決めた後に，その値を平均とした

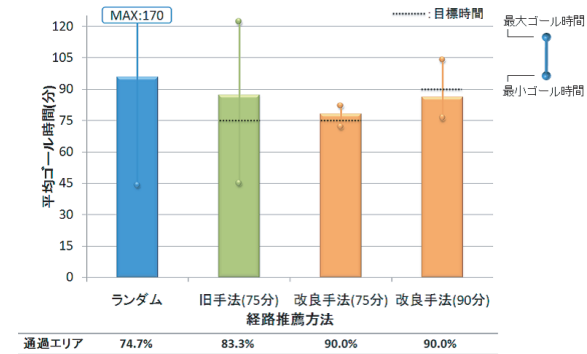


図 8 各グループの結果
Fig. 8 Evaluation result.

正規分布に従って，区間ごとに計算し，システムの推薦への従順率は 100%とした．まず，シミュレーションの妥当性を検討するために時間相違スコアと場内未踏スコアをイベント時と同じ重みで設定し，シミュレーション評価を行い，結果を検定したところ，実運用結果と差異は認められず，シミュレーションの妥当性を確認した．

次に，それぞれのスコアについて，目標終了時間 75 分，90 分の時間相違スコアと組み合わせでシミュレーションを行った．混雑遭遇スコアは次のポイントの指示の際にキャパシティ (10 人に設定) を超えたポイント (混雑地点) を指示した割合で評価した．地点未踏スコアはイベント主催者が通過を希望するポイント (アメリカ館，シンガポール館，木の葉の遊具) を設定し，参加者が何カ所通過したかの平均で評価した．距離相違スコアは参加者が歩いた距離の平均と，目標距離を達成した参加者の割合で評価した．なお，目標距離は基準移動時間 70 分に相当する距離とした．各スコアの重みはすべて 1 である．

結果を表 2 に示す．ランダムに次のポイントを指示する手法と比較して，各スコアを指定した方が平均終了時間が目標に近づいていると同時に各スコアで設定したイベント主催者の意図を反映した結果となった．以下で各スコアについての評価を行う．

混雑遭遇スコア

ランダムで次のポイントを指示する場合は 25%であった混雑地点指示率が，目標終了時間が 75 分，90 分の場合ともに 5%以下まで下がった．参加者のポアソン平均到着率を倍の 100 人/時間にしたところ，混雑地点指示率が，目標終了時間が 75 分，90 分の場合ともに 86%になった．これはランダムで次のポイントを指示する場合の 76%と比べて高い結果に

表 2 シミュレーション結果
Table 2 Simulation result.

スコア	目標時間	平均	最短	最長	標準偏差	通過エリア	混雑地点指示率	希望地点通過数	平均歩行距離	目標距離達成率
ランダム	未設定	84分	50分	134分	17分	76%	25%	0.84	70分	49%
時間+	75分	77分	56分	106分	11分	75%	4.8%	0.97	62分	28%
混雑	90分	83分	56分	115分	11分	82%	4.5%	1.25	73分	68%
時間+	75分	73分	45分	108分	11分	76%	35%	1.68	65分	38%
地点	90分	83分	56分	123分	13分	77%	38%	1.85	75分	65%
時間+	75分	75分	54分	106分	8分	78%	41%	1.00	60分	35%
距離	90分	83分	55分	104分	10分	79%	30%	1.10	72分	67%

なったが、混雑遭遇スコアを用いることでシステムがポイントの負荷分散を行っていたことによる。混雑地点を指示されたときの次ポイントにいる参加者の数を収集したところ、ランダムで次のポイントを指示する場合は平均 17.2 人、標準偏差 4.70 人であったのに対して、混雑遭遇スコアを用いた目標終了時間 75 分の場合は平均 13.9 人、標準偏差 2.48 人、目標終了時間 90 分の場合には平均 13.8 人、標準偏差 2.38 人であった。

地点未踏スコア

提案手法を用いなければ希望地点通過数が 3 カ所中 0.84 カ所であったところを、提案手法を用いることで目標終了時間が 75 分で平均 1.67 カ所、90 分で 1.85 カ所を回らせながら、目標終了時間に近い時間でゴールできる経路を指示できた。また、通過希望地点を 1 カ所、5 カ所に代えてシミュレーションを行ったところ、希望地点の通過率に差は見られなかった。

距離相違スコア

ランダムに次のポイントを指示すると平均歩行距離は目標に達しているが、目標距離達成率が 49%であった。しかし、距離相違スコアと時間相違スコアを設定し、目標終了時間を 90 分にした場合に目標距離達成率を 67%まで伸ばした。また目標終了時間を 75 分にした場合は平均歩行距離が目標に達しておらず、目標距離達成率も 35%と低かった。これは、ゴールに近づくにつれて時間相違スコアの重要度が増し、目標終了時間に近い時間で終了することに重きをおいたためであると考えられる。

6.1 時間相違スコアおよび距離相違スコアの計算方法

時間相違スコアと距離相違スコアの計算に用いる時間と距離の比を、現在地からゴールまでとスタートからゴールまで全体とのどちらが妥当かをシミュレーション評価により調べた。結果を表 3、表 4 に示す。結果より、スタートからゴールまで全体の時間、距離の比を用いた方が優れた結果となった。これは、残り時間の比を計算に用いると、イベントが進行

表 3 残りの時間、距離に統一した場合

Table 3 Simulation result using remaining time and distance.

スコア	目標時間	平均	最短	最長	標準偏差	通過エリア	混雑地点指示率	希望地点通過数	平均歩行距離	目標距離達成率
ランダム	未設定	84分	50分	134分	17分	76%	25%	0.84	70分	49%
時間+	75分	77分	56分	106分	11分	75%	4.8%	0.97	62分	28%
混雑	90分	83分	56分	115分	11分	82%	4.5%	1.25	73分	68%
時間+	75分	73分	45分	108分	11分	76%	35%	1.68	65分	38%
地点	90分	83分	56分	123分	13分	77%	38%	1.85	75分	65%
時間+	75分	78分	52分	100分	8分	78%	36%	0.97	63分	32%
距離	90分	88分	65分	123分	10分	80%	36%	1.13	77分	83%

表 4 全体の時間、距離に統一した場合

Table 4 Simulation result using total time and distance.

スコア	目標時間	平均	最短	最長	標準偏差	通過エリア	混雑地点指示率	希望地点通過数	平均歩行距離	目標距離達成率
ランダム	未設定	84分	50分	134分	17分	76%	25%	0.84	70分	49%
時間+	75分	75分	54分	104分	10分	76%	0.2%	1.01	59分	17%
混雑	90分	81分	51分	114分	13分	80%	0.0%	0.99	67分	43%
時間+	75分	74分	52分	110分	11分	75%	35%	1.94	65分	37%
地点	90分	82分	59分	114分	12分	79%	43%	2.35	73分	63%
時間+	75分	82分	59分	130分	12分	83%	42%	1.08	65分	63%
距離	90分	89分	64分	117分	9分	81%	38%	1.13	72分	91%

するにつれて影響が大きくなり、他のスコアが反映されなくなるためであると考えられる。

6.2 スコアへの重み付け

時間相違スコアと地点未踏スコアを設定したものを例にとり、地点未踏スコアに乘算する重みを 1/5, 1, 5, 10 にした場合の平均ゴール時間と希望地点通過数を表 5 に示す。

結果より、地点未踏スコアの重みが大きくなるにつれてゴール時間の標準偏差が大きくなり、時間相違スコアの影響が小さくなっていることを確認した。また、希望通過地点をそれぞれの参加者が何カ所目に通過したかを調べたところ、図 9 に示すように、時間相違スコアの計算に残り時間の比を用いた場合は時間経過につれて時間相違スコアの影響が大きくなるため、ラリーの序盤から中盤では地点未踏スコアの重みを大きくすることで希望地点を指示するようになるが、ラリーの後半では時間相違スコアが極端に大きな値をとるようになり、全体時間の比を計算に使う場合と比べて地点未踏スコアの影響が小さくなっていることが分かる。

表 5 地点スコアへの重み付けの結果
Table 5 Effect of weight.

時間相違スコアの計算材料	目標時間	地点未踏スコアの重み	平均ゴール時間	標準偏差	希望地点通過数		
残りの時間の比	75 分	1/5	75 分	9.6 分	1.27		
		1	73 分	11.0 分	1.67		
		5	73 分	13.9 分	1.90		
		10	74 分	12.2 分	2.15		
		1/5	82 分	10.2 分	1.57		
	90 分	1	83 分	11.8 分	1.85		
		5	80 分	12.5 分	2.00		
		10	82 分	11.6 分	2.14		
		全体の時間の比	75 分	1/5	72 分	9.3 分	1.43
				1	74 分	11.4 分	1.94
5	77 分			12.8 分	2.54		
10	76 分			15.4 分	2.55		
1/5	83 分			12.3 分	1.73		
90 分	1		81 分	12.9 分	2.36		
	5		85 分	11.8 分	2.60		
	10		83 分	11.8 分	2.7		

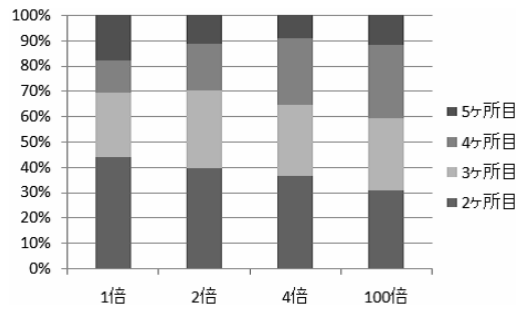


図 9 希望通過地点の通過分布

Fig.9 Distribution of transit timing for designated points.

7. ま と め

本研究では、イベント主催者の意図を満たす経路推薦機構を持つナビゲーションシステムを構築し、実際のイベントにおいて実運用し評価を行った。結果より、提案システムを用いることでイベント主催者の意図が満たせ、また装着型センサを用いることでさらに精度が向

上することを確認した。

今後の課題として、主催者の意図と参加者の意図を統合的に扱うナビゲーションシステムの開発、また、センサ追加やアルゴリズム改善によって慣性測位による位置取得¹³⁾など詳細な状況を認識し、詳細な制御や立ち止まったときに地図を表示させるといったウェアラブルコンピューティングの特性を活かした機能の実現、さらには全参加者の情報を総合的に利用した混雑緩和制御の実現などがあげられる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(21013034)によるものである。ここに記して謝意を表す。また、多大なご協力をいただいた NPO 法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構およびウエストユニティス株式会社のみなさまに感謝する。

参 考 文 献

- 丸山敦史, 柴田直樹, 村田佳洋, 安本慶一, 伊藤 実: P-Tour: 観光スケジュール作成支援とスケジュールに沿った経路案内を行うパーソナルナビゲーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.12, pp.2678-2687 (2004).
- 垂水博之, 鶴身悠子, 横尾佳余, 西本昇司, 松原和也, 林 勇輔, 原田 泰, 楠 房子, 水久保勇記, 吉田 誠, 金 尚泰: 携帯電話向け共有仮想空間による観光案内システムの公開実験, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.1, pp.110-124 (2007).
- 宮前雅一, 岸野泰恵, 寺田 努, 塚本昌彦, 平岡圭介, 福田登仁, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピュータを用いた万博記念公園ナビゲーションシステムの設計と実装について, 情報処理学会研究報告(モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会 2004-MBL-30), Vol.2004, No.95, pp.1-8 (2004).
- 塚本昌彦: モバイルコンピューティングの展望—仮想空間と現実空間の統合にむけて, 超集積化デバイス・システム第 165 委員会第 9 回研究会資料, pp.11-18, 日本学術振興会 (1998).
- 塚本昌彦: モバイルコンピューティング, 岩波科学ライブラリー, 岩波書店 (2000).
- 鈴木琢治, 大内一成, 土井美和子: LifeMinder: ウェアラブル健康管理システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.699, pp.33-38 (2002).
- Ho, J. and Intille, S.S.: Using Context-Aware Computing to Reduce the Perceived Burden of Interruptions from Mobile Devices, Proc. Conference on Human Factors in Computing System (CHI 2005), pp.909-918 (2005).
- 前田真希, 小川剛史, 清川 清, 竹村治雄: 赤外線を用いたビジョンベーストラッキングによるウェアラブル AR ナビゲーションシステム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.584, pp.61-62 (2004).
- 山下雅史, 寺田 努, 西尾章治郎: 状況依存システム構築のためのコンテキスト定義ツールの開発, 情報処理学会研究報告(モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会 2007-MBL-43), Vol.2007, No.116, pp.153-159 (2007).

- 10) 宮前雅一, 寺田 努, 岸野泰恵, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 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, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.3, pp.694-703 (2005).
- 11) 寺田 努, 宮前雅一: その場プログラミング環境の実現に向けて(実世界プログラミングとユーザモデル), 情報処理学会研究報告(ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2007-UBI-14), Vol.2007, No.46, pp.1-8 (2007).
- 12) 「ケータイ」手に自然散策, 産経新聞, 平成 19 年 6 月 4 日付 (2007).
- 13) シリコンセンシングシステムズジャパン株式会社: 歩行者慣性ナビユニット ポイントマン DRM. <http://www.spp.co.jp/sss/j/pointman3.pdf>

(平成 20 年 11 月 15 日受付)

(平成 21 年 6 月 4 日採録)



片山 拓也

2008 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。現在, 同大学大学院博士前期課程に在籍。コンテキストウェアサービス, ウェアラブルコンピューティングの研究に興味を持つ。



村尾 和哉(学生会員)

2006 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2008 年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。現在, 同大学院博士後期課程に在籍。ウェアラブルコンピューティング, コンテキストウェアネスの研究に興味を持つ。日本データベース学会の学生会員。



田中 宏平

2005 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。2007 年同大学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。ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングに興味を持つ。



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。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事。2004 年には英国ランカスター大学客員研究員を兼務。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE 等 5 学会の各会員。



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 年より大阪大学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, その後 2007 年より大阪大学理事・副学長に就任。この間, カナダ・ウォータールー大学, ビクトリア大学客員。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 等の論文誌編集委員。本会理事を歴任。電子情報通信学会フェローを含め, ACM, IEEE 等 8 学会の各会員。