

フレームワークに基づいた 三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの設計と評価

鮎谷 知也[†] 間邊 哲也[†]

[†] 埼玉大学 大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: [†] {tomoya, manabe}@mnbc.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では3種の端末が協調動作した歩行者ナビゲーションシステムの実現に向けて、既存研究の整理、設計要件の整理、フレームワークの構築、構築したフレームワークに基づいたシステムの設計及び評価を行っている。まず既存のナビゲーションシステムに関する研究、歩行者ナビゲーションのフレームワークに関する研究の整理を行っている。次に既存のフレームワークでは不十分な協調型歩行者ナビゲーションシステムにおける設計要件を整理し、フレームワークを構築している。さらに構築したフレームワークに基づいた三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの設計および評価を行っている。その結果、三者協調型歩行者ナビゲーションシステムに関する知見を得ている。

キーワード 協調型歩行者ナビゲーションシステム, フレームワーク, スマートウォッチ

Design and Evaluation of Tripartite Collaborative Pedestrian Navigation System Based on Framework

Tomoya FUNATANI[†] and Tetsuya MANABE[†]

[†] Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

E-mail: [†] {tomoya, manabe}@mnbc.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract In this paper, in order to design the tripartite collaborative pedestrian navigation system, we classify existing research and requirements, construct a framework, design the system based on the constructed framework and evaluate it. First, we classify existing navigation systems and construct the framework of collaborative pedestrian navigation system. Next, the design requirements of the collaborative pedestrian navigation system, which is insufficient consideration in the existing framework, are classified and we construct the framework. Furthermore, we design the tripartite collaborative pedestrian navigation system based on the constructed framework and evaluate it. Consequently, we obtain knowledge on tripartite collaborative pedestrian navigation systems.

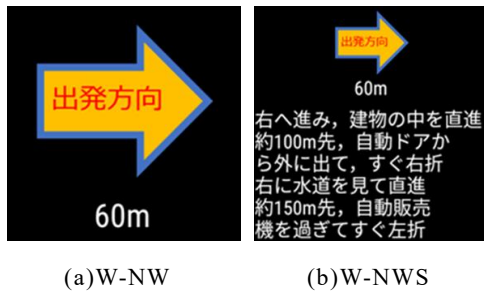
Keywords Collaborative Pedestrian Navigation System, Framework, Smartwatch

1. まえがき

歩行者を取り巻く環境の変化やIT技術の発達に伴って、歩行者ナビゲーションの需要が増加している。すでに様々な歩行者ナビゲーションシステムが提案されており、その多くはモバイル機器を用いたシステム[1]-[5]、インフラ設置機器を用いたシステム[6]-[9]である。また、これら二者を協調動作させたシステム[14]も存在する。また、近年になり登場したウェアラブル機器、その中でも利用者が増加しつつあるスマートウォッチを用いた歩行者ナビゲーションシステム[10]-[12]も存在し、これらはそれぞれスマートウォッチの単体利用が想定されている。しかし、スマートウォッチは画面サイズが小さいこと、通常はスマートフォンのサブデバイスとして動作することから、歩行者ナビゲーションにおいては単体利用には適さない。そ

こで、既存のモバイル機器、インフラ設置機器にウェアラブル機器を加え、それぞれの短所を補完し合うような三者の協調動作が考えられる。

また、筆者らは歩行者ナビゲーションにおいてスマートウォッチに、「今まさに必要な情報」を提示するという役割を与え、協調動作を前提としたスマートウォッチのHMI(Human-Machine Interface)の設計を行っている[13]。しかし協調型歩行者ナビゲーションシステムの実現方法については示されていない。また、文献[15]で歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルが提案されており、これによって歩行者ナビゲーションシステムの分類整理や標準化が可能になることが示されている。しかし協調型歩行者ナビゲーションシステムを設計するうえでの要件については不十分である。そこで本稿では文献[15]を拡張する形で



(a)W-NW (b)W-NWS
図1 スマートウォッチの画面例

協調型歩行者ナビゲーションシステムのフレームワークを構築し、モバイル/ウェアラブル/インフラの三者を協調動作させた歩行者ナビゲーションシステムを、構築したフレームワークに基づいて設計し、評価する。

2節で歩行者ナビゲーションに関する先行研究を整理する。3節で協調型歩行者ナビゲーションシステムのフレームワークを構築する。4節でフレームワークに基づくシステムの設計および評価を行う。

2. 歩行者ナビゲーションに関する先行研究

2.1. 既存の歩行者ナビゲーションシステム

既存の歩行者ナビゲーションシステムにはモバイル機器を用いたもの[1]-[5]、インフラ設置機器を用いたもの[6]-[9]がある。モバイル機器は持ち運びが可能であるという特徴から、提供する情報に、推奨される進行方向などの現在地指向の案内を含むことが多い。インフラ設置機器は商業施設等に設置され、画面サイズの大きさから、歩行経路などの経路全体指向の案内を提供することが多い。

さらに近年になり登場したウェアラブル機器、中でも利用者が増加しつつあるスマートウォッチを用いた歩行者ナビゲーションシステム[10]-[12]も存在する。しかしその多くは単体利用が想定されている。そこで文献[13]では、協調動作を前提としたスマートウォッチの歩行者ナビゲーションシステムのHMIの設計を行っている。しかし協調型システムの具体的な実現方法については示されていない。

文献[14]では、既存の歩行者ナビゲーションシステムの多くで使用されるモバイル機器とインフラ設置機器を協調動作させたシステムが提案されている。その中で、モバイル/インフラ協調型歩行者ナビゲーションシステムにおいて、デバイスごとの最適な案内文の長さの組み合わせとモバイル機器による案内文および地図の持ち運びの効果を明らかにしている。

文献[15]では、歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルが提案されている。これは歩行者ナビゲーションの包括的なフレームワークである。また文献[16]では、このフレームワークに基づくシステム

の設計および評価を行うことで、提案したフレームワークの有効性を確認している。しかし協調型システムにおける設計要件については不十分である。

そこで以降では、まず既存のモバイル機器、インフラ設置機器に、ウェアラブル機器を加えた三者を協調動作させた歩行者ナビゲーションシステムのフレームワークを構築し、そのフレームワークに基づいたシステムの設計および評価を行う。

3. 協調型歩行者ナビゲーションシステムのフレームワーク

3.1. スマートウォッチが持つ歩行者ナビゲーションへの効果の確認

フレームワークを構築する前段階として、スマートウォッチが持つ歩行者ナビゲーションへの効果を確認するために被験者実験を行った。

実験は埼玉大学構内の建物を目的地に設定し、屋外で行った。被験者は19~22歳の男女14名(男性9名、女性5名)で、スマートウォッチを日常的に使用している被験者はいなかった。被験者はスマートフォン、スマートウォッチ、キオスク型端末を協調動作させたシステムを使用して、構内の経路を歩行した。また、被験者は歩行タスク1回ごとに、使用したシステムに関するアンケートに回答した。実験では、被験者はスマートウォッチの提示情報によって4種類のシステムを使用した。スマートウォッチで提示する情報として通知(Notification)、単語(Word)、案内文(Sentence)の3つを考え、通知のみで画面出力なし(W-N)、進行方向の矢印+単語+通知(W-NW)、進行方向の矢印+案内文+通知(W-NWS)の3種類に、スマートウォッチを使用しない場合を加えた4種類である。図1に4種類のうち画面出力を行うW-NWおよびW-NWSの画面例を示す。測定項目は目的地に到達するまでにかかった時間と端末を見た回数であり、端末を見た回数としてスマートフォンを見た回数(N_P)、スマートウォッチを見た回数(N_W)、スマートフォンを見てからスマートウォッチを見た回数(N_{PW})、スマートウォッチを見てからスマートフォンを見た回数(N_{WP})の4種類を測定した。評価指標として規格化旅行時間[17][18]に対する目的地到達率、端末を確認した回数、アンケートへの回答結果を使用した。

規格化旅行時間に対する累積目的地到達率を画面の種類別にまとめたグラフを図2に示す。グラフの立ち上がりはW-NWSが最も早いことがわかる。また、規格化旅行時間が1.2~2.5の範囲ではスマートウォッチを用いた3種類における目的地到達率が高いことがわかる。これらから、スマートウォッチを使用することで案内性能が向上すると言える。

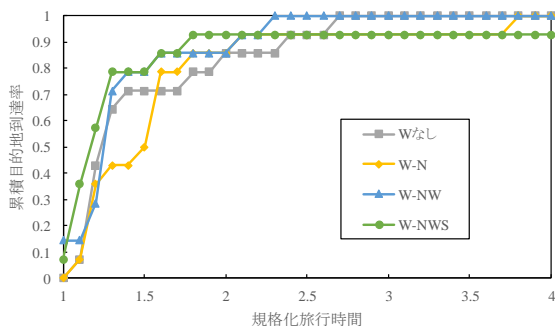


図 2 規格化旅行時間に対する累積目的地到達率

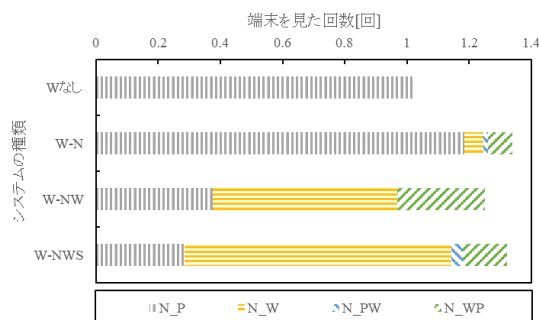


図 3 端末を確認した回数の通知 1 回あたりの平均

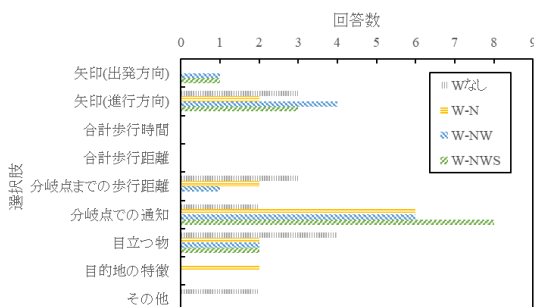


図 4 「この案内情報について最も役に立った情報は何でしたか？」に対する回答

端末を確認した回数の通知 1 回あたりの平均を画面の種類別にまとめたグラフを図 3 に示す。スマートウォッチを使用した場合、スマートフォンよりもスマートウォッチを見た回数が多かったことから、通知に気づきやすくなったと言える。しかし情報の取得に時間がかかってしまうと旅行時間の増加につながる恐れがあるため、スマートウォッチにおいて提示する情報を限定し、直感的に提示する必要があると言える。

アンケートの中で「この案内情報について、最も役に立った情報は何か？」の質問に対する回答を画面の種類別にまとめたグラフを図 4 に示す。スマートウォッチを使用した 3 種類において通知が最も役に立ったと答えた被験者が、使用しない場合と比較して 2 倍を超えていることから、スマートウォッチにおい

表 1 歩行者ナビゲーションに必要な機能の分類結果

ナビゲーションに必要な機能	内容
ユーザからシステムへの入力	あり, なし
位置や方向の特定	あり, なし
データベース管理	あり, なし
システムからユーザへの情報の生成	あり, なし
システムからユーザへの情報提示	あり, なし

表 2 機器間通信における要件

機器間通信の要件	内容
通信の双方向性	あり, なし
通信のための操作	多い⇔少ない
事前セットアップの要不要	必要, 不要
OS, 機種依存性	高い⇔低い

て通知を行うことで案内性能が向上したと言える。しかし、提示する案内情報や提示方法を適切に決定する必要がある。

3.2. 設計要件の整理とフレームワーク構築

ここでは協調型歩行者ナビゲーションシステムを設計するうえで考えるべき要件を整理し、フレームワークを構築する。

まず、歩行者ナビゲーションに必要な機能を分類した結果を表 1 に示す。歩行者ナビゲーションに必要な機能はユーザからシステムへの情報入力、位置や方向の特定、データベースの管理、システムからユーザへ提示する情報の生成、システムからユーザへの情報提示に分類できる。

次に、協調型システムを設計するうえで欠かせない、機器間通信を行う上での要件を分類した結果を表 2 に示す。機器間通信では、通信が単方向か双方向か、ペアリング等の事前セットアップが必要かどうか、通信のための操作の程度、OS や機種などへの依存の程度、近距離通信以外の通信(Wi-Fi, 公衆回線)が必要かどうかを考慮する必要がある。

4. フレームワークに基づいた三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの設計と構築

4.1. 設計と構築

ここではシステム構築のための要件を決定する。一般に歩行者ナビゲーションシステムでは、より多くのユーザが利用できることが重要であるため、特定の条件や環境に依存しないことを要件の一つとする。また、複数の端末を協調動作させるために、使用する端末の特徴に沿った HMI の設計を行うことが重要である。そこでまず使用する端末を決定する。モバイル機器においてはすでに多くのユーザが所有しているスマートフォンを、ウェアラブル機器は利用者が増加しつつあるスマートウォッチを、インフラ設置機器は商業施設等で実用化(例えば[6])されているキオスク型端末を使用することとした。そして、それぞれの端末が持

表 3 端末の特徴整理の結果

機器	長所	短所
キオスク型端末	・画面サイズが大きい	・持ち運びが不可能
スマートフォン	・持ち運びが可能 ・既に多くの人が所持しているため習熟に必要な追加時間が短い	・情報取得までの手間がやや多い
スマートウォッチ	・持ち運びが可能 ・情報取得までの手間が少ない ・通知に気づきやすい	・単体利用できないことがある ・画面サイズが小さい ・入力に特殊なインターフェースが必要 ・ため習熟に必要な追加時間が長い

表 4 各端末で提供する機能

	スマートフォン	スマートウォッチ	キオスク型端末
ユーザからシステムへの入力	○	-	○
位置や方向の特定	○	-	○
データベース	○	-	○
システムからユーザへ提示する情報の生成	○	-	○
システムからユーザへの情報提示	○	○	○

表 5 機器間通信の方法を分類した結果

(a)スマートフォン→スマートウォッチ

	近距離での情報の送受信			その他
	QRコード	NFC (Androidビーム含む)	Bluetooth	サーバ処理
通信の双方向性	無	有	有	有
通信のための操作量	多	中	少	少
事前セットアップの要不要	不要	不要	不要※	不要
OS, 機種依存性	高	高	低	低
Wi-Fi, 公衆回線の要不要	不要	不要	不要	必要

※…ナビゲーションのための事前セットアップが不要(普段使いのためにセットアップ済み)

(b)スマートフォン→キオスク型端末間

	近距離での情報の送受信			その他
	QRコード	NFC (Androidビーム含む)	Bluetooth	サーバ処理
通信の双方向性	無	有	有	有
通信のための操作量	多	中	少	少
事前セットアップの要不要	不要	不要	必要	不要
OS, 機種依存性	低	高	中	低
Wi-Fi, 公衆回線の要不要	不要	不要	不要	必要

つ特徴を整理した結果を表 3 に示す。それぞれ他の端末にはない特徴を有していることがわかる。

これらから、特定の条件や環境に依存度しないこと、使用する端末の特徴に沿った HMI の設計を行うことを要件として三者協調型歩行者ナビゲーションシステムを構築した。端末ごとのナビゲーションにおける機能を、それぞれが持つ特徴に沿って分担した結果を表 4 に示す。操作性の高さ、位置や方向の特定ができることから、スマートフォンおよびキオスク型端末ではすべての機能を提供することとした。スマートウォッチは画面サイズが小さく操作性が低いため、画面操作によるシステムへの入力を行わせるべきではないと言える。さらにスマートウォッチは一般的にスマートフォンのサブデバイスとして動作することから、位置や方向の特定、データベースの管理、提示する情報の生成などの内部処理をスマートフォンで行うことが考えられる。よってスマートウォッチでは「システムからユーザへの情報提示」のみを提供することとした。

表 6 端末間でやり取りする情報のまとめ

		受信機器		
		スマートフォン	スマートウォッチ	キオスク型端末
送信機器	スマートフォン	-	案内情報	目的地の情報
	スマートウォッチ	-	-	-
	キオスク型端末	目的地の情報	-	-

次に機器間通信の方法を決定する。通信方法は近距離での情報の送受信とその他に分類することができる。近距離での情報の送受信には QR コード、NFC(Android ビーム含む)、Bluetooth があり、その他にはサーバ処理がある。これらの通信の方法の中で要件を満たすものを選択する。スマートウォッチでは「システムからユーザへの情報提示」のみを提供することとしたため、本稿においてスマートウォッチでは、スマートフォンからのデータ受信以外は行わないこととした。そこで、残りのスマートフォン-キオスク型端末間の双方向の通信方法、スマートフォンからスマートウォッチへの単方向の通信方法を決定する。スマートフォンからスマートウォッチへの単方向の通信方法を分類した結果を表 5(a)に示す。分類の結果から、どの要件においても Bluetooth が有効であることから、Bluetooth を用いることとした。スマートフォン-キオスク型端末間の双方向の通信方法を分類した結果を表 5(b)に示す。分類の結果から、特定の条件や環境に依存しない、すなわち OS 機種依存性が低く、かつ Wi-Fi、公衆回線が不要である QR コードを用いることとした。また、端末間でやり取りする情報をまとめた結果を表 6 に示す。スマートウォッチでは「システムからユーザへの情報提示」のみを行うこととしたため、スマートフォンからスマートウォッチへは案内情報を送信し、その他の端末間においては目的地の情報をやり取りすることとした。

スマートウォッチの画面は筆者らが設計した HMI[13]に基づき設計した。これはスマートウォッチで「ユーザが今取るべき行動」を直感的に提示するための HMI である。また、スマートフォン、キオスク型端末の画面は文献[14]のモバイル/インフラ協調型システムの HMI に基づき設計した。これはキオスク型端末の案内情報をスマートフォンで持ち運ぶことを目的とした HMI である。以上から、設計した各端末の画面例を図 5 に示す。

4.2. 評価

フレームワークに基づき設計した三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの有効性を確認するために、4.1 で設計・構築したシステムの評価を行った。実験は埼玉大学構内の建物を目的地に設定し、屋外で行った。被験者は 19~22 歳の男女 6 名(男性 3 名、女性 3 名)で、スマートウォッチを日常的に使用している被験者はいなかった。



(a)スマートフォン



(b)スマートウォッチ



(c)キオスク型端末

図 5 設計した各端末の画面例

表 7 アンケートの質問内容

番号	質問内容
Q1	目的地に到達するために便利だと感じた
Q2	目的地へ到達するための手段として友人や家族に紹介したいと感じる
Q3	近い目的地へ到達したいときに使いたいと感じる
Q4	遠い目的地へ到達したいときに使いたいと感じる
Q5	目的地へ確実に到達したいときに使いたいと感じる
Q6	目的地に到達するための手間が少なかった
Q7	目的地に到達するために必要な操作がわかりやすかった
Q8	目的地に到達するための案内情報が素早く取得できた
Q9	目的地に到達するための案内情報が安定して取得できた
Q10	目的地に到達するための時間の浪費が少なかった
Q11	目的地に到達するための案内情報が読みやすかった
Q12	目的地に到達するための案内情報の画面構成がわかりやすかった
Q13	目的地に到達するために必要な操作に対するストレスが少なかった
Q14	目的地に到達するための案内情報を待つ間のストレスが少なかった
Q15	目的地に到達するために使用してみて親しみがわいた

被験者はスマートフォン、スマートウォッチ、キオスク型端末を協調動作させたシステムを使用し、構内の経路を歩行した。また、被験者は歩行タスク 1 回ごとに使用したシステムに関するアンケートに回答した。本実験において被験者が使用するシステムは、フレームワークに基づいて設計したもの(以下提案システム)、3 節の実験で使用した提示方法の中で案内性能が比較的高かった W-NWS を用いたもの(以下従来システム)である。測定項目は、目的地に到達するまでにかかった時間と端末を確認した時間である。アンケートは文献[19]で使用された ISO9241-11 に基づいたユーザビリティ評価手法における質問内容を 4 段階のリッカート尺度での回答に変更して使用した(表 7)。評価指標として規格化旅行時間[17][18]に対する累積目的地到達率、端末を確認した時間、アンケートへの回答の結果を使用した。

規格化旅行時間に対する累積目的地到達率をシステム別にまとめたグラフを図 6 に示す。グラフの立ち上がりは提案システムのほうが早く、提案システムの案内性能が高いと言える。

端末を確認した時間のタスク 1 回あたりの平均をシステム別にまとめたグラフを図 7 に示す。提案システムにおいてスマートウォッチを確認した時間が短いことから、スマートウォッチから「ユーザが今取るべ

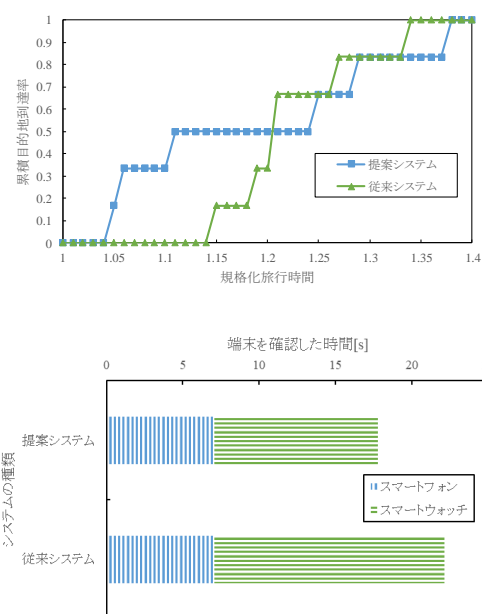


図 7 端末を確認した時間のタスク 1 回あたりの平均

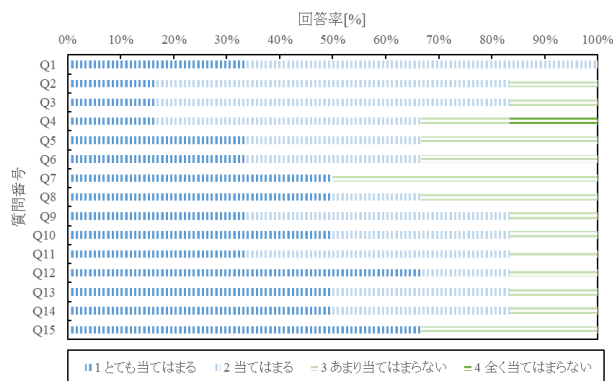
き行動」が直感的に提示されたために、案内性能が向上したと言える。

ユーザビリティ評価の結果を図 8 に示す。総じて提案システムに対する評価従来システムと比較して良好であると言える。特に、Q13 の「目的地に到達するために必要なストレスが少なかった」において、従来システムでは約 70%の被験者が否定的な回答をしていることがわかり、これは、従来システムはスマートウォッチの小さな画面上で画面操作を行っていたことが原因であると考えられる。また、端末を確認した時間についても同様と考えられる。

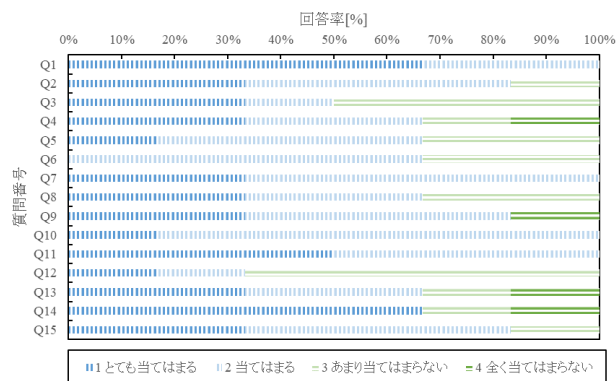
以上のことから、フレームワークに基づいて設計した三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの有効性を確認した。

5. むすび

本稿では、既存のモバイル機器、インフラ設置機器にウェアラブル機器を加えた三者を協調動作させた歩行者ナビゲーションシステムを、フレームワークに基づいて設計し、評価した。まず歩行者ナビゲーション



(a)提案システム



(b)従来システム

図 8 ユーザビリティ評価の結果

ンシステムに関する先行研究を整理した。次に協調型歩行者ナビゲーションシステムにおいて考慮すべき要件を整理し、フレームワークを構築した。そして構築したフレームワークに基づいた三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの設計および評価を行った。その結果提案した三者協調型歩行者ナビゲーションシステムの有効性を確認し、実現に向けた重要な知見を得た。

今後の課題として、被験者層の拡大、異なる環境や設計要件での評価が考えられる。

文 献

- [1] 福井良太郎, 白川洋, 歌川由香, 重野寛, 岡田謙一, 松下温, “携帯電話における歩行者ナビゲーション情報の表示方法に関する提案と評価,” 情処学論, vol.44, no.12, pp.2968-2978, Dec. 2003
- [2] 山下清司, 長谷川孝明, “カメラ付き携帯電話による M-CubITS 歩行者ナビゲーションについて,” 信学技報, ITS2003-113, pp.21-26, Mar. 2004.
- [3] M. Arikawa, S. Konishi, and K. Onishi, “NAVITIME: Supporting Pedestrian Navigation in the Real World,” IEEE Pervasive Computing, pp.21-29, July 2007.
- [4] 和田崇雅, 高取祐介, 八嶋弘幸, “2 次元コードと携帯端末を用いた屋内歩行者ナビゲーションシステムの提案,” 信学技報, ITS2008-6, pp.33-37, May 2008.
- [5] 長健太, “スマートフォンによる高齢者向けナビゲーション情報提示方式の提案と評価,” 信学論(D), vol.J96-D, no.10, pp.2603-2611, Oct. 2013.
- [6] (株) インタース, “デジタルフロアガイド,” <http://www.inters.cc/floorguide/floorguide.html>(アクセス日: 2020/01/30)
- [7] 白川洋, 歌川由香, 福井良太郎, 重野寛, 岡田謙一, 松下温, “無線情報端末を利用した歩行者ナビゲーションシステムの提案,” 情処学 GN 研報, 2002-GN-046, pp.71-76, Jan. 2003.
- [8] 芹澤崇, 足洗裕太, 平田恭崇, 長谷川孝明, 駒崎裕之, “購買環境を高度化する WyNIST の提案,” 信学技報, ITS2009-30, pp.73-78, Dec. 2009.
- [9] 劉暢, 長谷川孝明, 間邊哲也, 山本徳之, “キオスク型歩行者ナビゲーションシステムが提供する案内文について,” 信学技報, ITS2013-42, pp.245-250, Feb. 2013.
- [10] D. Wenig, J. Schöning, and B. Hecht, “StripeMaps: Improving Map-based Pedestrian Navigation for Smartwatches,” Proceedings of the 17th International Conference on HCI with Mobile Devices and Services, pp.52-62, Aug. 2015.
- [11] D. Dobbelstein, P. Henzler, and E. Rukzio, “Unconstrained Pedestrian Navigation based on Vibro-tactile Feedback around the Wristband of a Smartwatch,” Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.2439-2445, May 2016.
- [12] M. Perebner, H. Huang, and G. Gartner, “Applying user-centred design for smartwatch-based pedestrian navigation system,” Journal of Location Based Services, vol.13, no.3, pp.1-25, May 2019.
- [13] 鮎谷知也, 間邊哲也, “スマートウォッチを用いた歩行者ナビゲーションシステムの HMI について,” 信学技報, Feb. 2020. (印刷待ち)
- [14] 山本徳之, 原田悟, 間邊哲也, 長谷川孝明, “モバイル/インフラ協調型歩行者ナビゲーションにおける案内文および地図の効果について,” 信学技報, ITS2013-79, pp.91-96, Mar. 2014.
- [15] 間邊哲也, 長谷川孝明, “歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルの提案,” 信学論(A), vol.J95-A, no.3, pp.283-3-2, Mar. 2012.
- [16] T. Manabe, and A.Kojima, “Developing Systems Based on the Pedestrian Navigation Concept Reference Model: A Case Study,” Proceedings of the 21st International Conference on ITS, Maui, HI, USA, pp.2665-2670, Nov. 2018.
- [17] T. Manabe, T. Hasegawa, K. Arao, K. Okuno, H. Ito, Y. Ando, H. Higashida, and T. Takeyama, “Proposal of MI WyNE Box for M-CubITS Pedestrian WYSIWYAS Navigation Environments,” Proceedings of the 17th ITS World Congress Busan 2010, Busan, Korea, Oct. 2010.
- [18] 芹澤 崇, 長谷川孝明, 駒崎裕之, 荒尾和史, 奥野康生, 伊藤宏紀, 安藤祐二, “購買環境を高度化する WyNIST の実験-空港におけるナビゲーション実験,” 信学技報, ITS2009-63, pp. 147-152, Feb. 2010.
- [19] 間邊哲也, 長谷川孝明, “歩行者ナビゲーションコンセプトトリファレンスモデルに基づく M-CubITS 歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムの三者比較,” 信学論(A), vol.J96-A, no.9, pp.661-675, Sept. 2013.