

ウェアラブルコンピュータを用いた分散型協調活動支援

住谷 哲夫^{††} 井上 亮文[†] 柴 貞行[†]
加藤 淳也[†] 重野 寛^{††} 岡田 謙一^{††}

e-mail: sumiya@mos.ics.keio.ac.jp

本研究では、ウェアラブルコンピュータによる支援を受けながら進めるフィールドでの協調活動を WCSCW: Wearable Computer Supported Cooperative Work と位置付け、搜索活動を想定したプロトタイプシステムを実装する。このシステムでは、作業従事者が装着するウェアラブルコンピュータが取得する位置情報や作業内容から行動履歴を生成し、チーム全体で共有できる。実際にプロトタイプシステムを利用してフィールドにおいて評価実験を行い、行動履歴の有用性と WCSCW システムの特性を明らかにする。

Supporting Distributed Collaborative Work using Wearable Computers

Tetsuo Sumiya^{††}, Akifumi Inoue[†], Sadayuki Shiba[†],
Junya Kato[†], Hiroshi Shigeno^{††}, and Ken-ichi Okada^{††}

We call cooperative activities in the field supported by Wearable Computers as WCSCW: Wearable Computer Supported Cooperative Work, and implement prototype system supporting search operations. This system makes activity record by position and one's work information made by Wearable Computers, that enables search team to share the information, "Where we searched", "What we found". We experiment in the field with prototype system, and evaluate the value of activity record and make the property of WCSCW system clear.

1 はじめに

ウェアラブルコンピューティングは「身に付けたまま動き回ることができる」ことが特徴であるが、従来は卓上における単独の作業者の活動を支援することが多かった [1]。そこで、ウェアラブルコンピューティングの特徴を活かす応用例として、フィールドでの協調活動をウェアラブルコンピュータを用いて支援する Wearable Computer Supported Cooperative Work (以下、WCSCW) の実現について考察する。

以下、チームを組んで進める分散協調型搜索活動を WCSCW の一例として取り上げる。そのような活動においては、各作業者の搜索範囲や、活動中に獲得した

情報などの蓄積情報が重要になると考えられる。しかし、既存のフィールドワークでの協調作業支援システムでは、遠隔地間でのリアルタイムコミュニケーションや、様々な情報を位置情報に関連付けて表示する共有地図といった機能に注目しており [2]、本研究で想定する搜索活動において重要な情報源となる蓄積情報を把握することは難しい。

そこで本研究では、まず蓄積情報を提示可能な WCSCW システムを実装し、評価実験においてこのプロトタイプシステムを利用し、実際にフィールドにおいてチームを組んで搜索活動を行った。この評価実験では、広範囲に散らばった複数種類のパズルを収集/完成させる Distributed Puzzle Assembling (以下、DPA) を実施する。これにより、分散協調型搜索活動における蓄積情報の有効性を示し、さらにその提示手法の効果について分析する。

[†] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻
School for Open and Environmental Systems,
Graduate School of Science and Technology,
Keio University

^{††} 慶應義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

2 プロトタイプシステムの実装

搜索活動における蓄積情報の有効性を評価するためのシステムを実装した。そのシステムの構成図を図1に、ハードウェアを装着した様子を図2に示す。

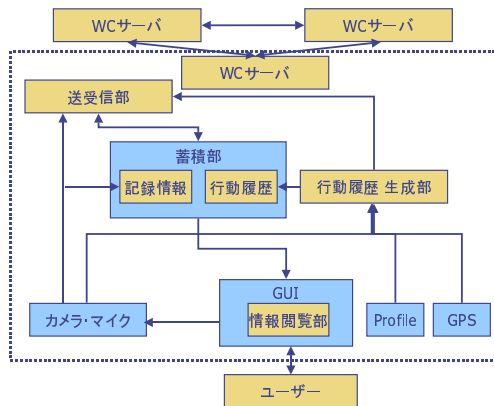


図 1: 実装したシステムの構成図

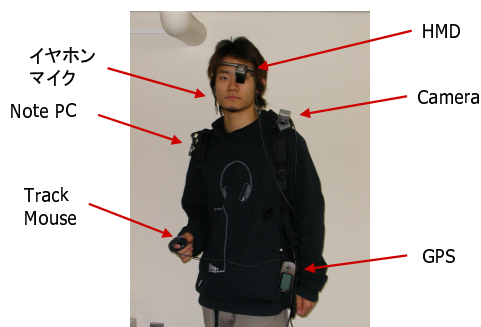


図 2: プロトタイプシステム装着図

蓄積情報は行動履歴と記録情報から成る。行動履歴とは「どの作業者が」「いつ」「どこで」「どのような活動を行い!」「どのような情報を獲得したのか」といった情報であり、必要に応じてコミュニケーション時に利用され、活動内容を決定していくことに利用されるものである。記録情報は各参加者が搜索活動を行った際に映像と音声で記録したデータである。生成した行動履歴と記録情報は蓄積部に蓄積し、他参加者へ発信するために送受信部へ送る。通信は無線ベースで行った。

プロトタイプシステムでは、全参加者の行動履歴・記録情報を閲覧でき、遠隔地の作業員間でリアルタイムにコミュニケーション、また記録情報を生成できるよう実装した。図3に、作業員のHMDに表示される閲覧部を示す。この画面は作業員のHMD上に表示さ

れる。以降にて各部の詳細について説明をする。

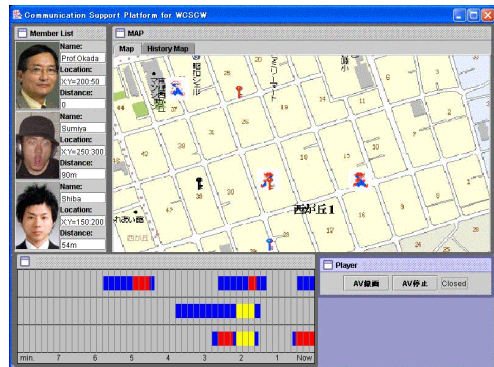


図 3: 閲覧部

共有地図

GUI上に表示されている地図は作業現場周辺の地図である。この地図上には全作業員の現在位置と、作業内容を撮影した記録情報が生成された位置が表示される。

作業範囲地図

作業範囲地図では全参加者の作業してきた範囲を地図上に表示する。作業員が歩いた軌跡が線で表示され、立ち止まって作業をしていた場所には矩形が表示される。このとき、矩形の色が参加者の滞在時間を表しており、その色が濃い程長く滞在していたことを表している。共有地図と作業範囲地図はその表示を切り替える事ができる。作業範囲地図の実装画面を図4に示す。

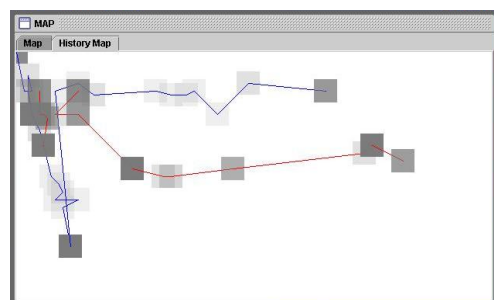


図 4: 作業範囲地図

作業内容映像の閲覧

共有地図上に表示された記録情報をクリックすると、要求を送信部を介して該当する記録情報を蓄積している作業員へ送信する。要求を受信した作業員は、該当する記録情報を送信部から要求元の作業員へ発信する。

作業内容映像の生成

作業内容映像は装着したカメラ・マイクを使用し生成する。AV録画ボタンを押すと記録が開始され、AV停止ボタンを押すと記録を終了し、蓄積部に蓄積される。

作業履歴グラフ

GUIの下部にあるグラフは、参加者が作業をしている場所での全作業員の行動履歴を作業員別に時系列に表示する作業履歴グラフである。メンバーリストの表示順に作業員ごとの行動履歴を活動内容によって色分けして表示している。

メンバーリスト

メンバーリストの画面には顔写真の画像、名前、位置情報が表示される。なお、画像をクリックするとその作業員と双方向に映像・音声を送信し合い、リアルタイムでコミュニケーションを取ることができる。

3 評価実験

実験の目的は、探索活動における蓄積情報の有効性の評価とその提示方法の効果の分析である。蓄積情報の有効性については、フィールドワークにおいて参加者が蓄積してきた情報を把握しづらい事からくる以下の問題点、

- 移動距離の増加
- 探索範囲の重複
- 余分なコミュニケーションの増加

これらの問題点が、蓄積情報の利用によって解消されたかを確認する。蓄積情報の提示方法の効果に関しては、機能の使用回数によってユーザーにどの機能が受け入れられていたのか、どのような蓄積情報をどのよ

うに提示することでユーザーの活動を支援できるのか、を評価する。

3.1 Distributed Puzzle Assembling

DPAのルールを「広範囲に散らばった複数種類のパズルを同数の参加者で組み立てる。その際、各参加者は自分の担当のパズルを決めておく」とする。以下にこのタスクの特性を示す。

- 分散作業環境

DPAでは広範囲にパズルを巻くため各参加者が自分の担当のパズルを捜しまわる。そのため他の参加者の作業してきた範囲を把握することがチームとしての作業効率を上げるために必要である。問題点でも挙げたように、他参加者の作業範囲を把握できないことによってタスクを通しての参加者の移動距離、参加者間で重複した探索範囲が多くなってしまふ。

- 協調作業の必要性

DPAでは各参加者がそれぞれ異なる種類のパズルを担当し、捜して組み立てる。参加者は担当のパズルを捜すうちに自分の担当以外のパズルも目にすることがある。この時、パズルの映像を位置情報と関連付け、参加者間でその情報を共有することが作業効率を上げるために重要である。

本研究の評価実験ではDPAを3名の参加者と3種類のパズルで行う。パズルは組み立てること自体に時間を要し、探索活動の妨げとならないよう難易度の低い20ピースのパズルを用いた。事前に全種類のパズルの完成図を見てもらい、3名の中で担当するパズルを決定してもらった。

3.2 実験環境

評価実験は慶應義塾大学矢上キャンパス内の体育館で行った。プロトタイプシステムでは屋外での運用を想定していたが、実験結果が天候に左右されると考えられるため、実験は屋内で実施した。これに伴い、位置情報の取得にはプロトタイプシステムではGPSを用いたが、屋内では使用できないので独自に座標軸を設定し、この座標の入力をキーボードから行うこととした。キーボードから位置情報を入力する参加者はDPAを行う参加者とは別に用意した。図5が実験場の構図

である。実験場の大きさは縦 10m 横 20m であり、広域分散型の搜索活動においてあまり発生しない参加者同士の対面コミュニケーションを極力抑え、また搜索範囲を一望できることを避けるため高さ 1.5m、長さ 6m の遮蔽物を二つ、図の位置に設置した。

以上のような条件で DPA を行った。被験者は延べ 24 名であり、実験前にシステムを使いこなせるよう充分練習してもらった。実験ではプロトタイプシステムとの比較のため次の 2 つの比較システムを用意し、各システムごとにタスクを実施した。比較用のシステムの詳細は以下の通りである。

- 比較システム A

プロトタイプシステムから蓄積情報に関する部分、作業範囲地図、作業内容映像生成、閲覧、作業履歴グラフを制限したもの。

- 比較システム B

現在実際に災害現場等の搜索活動で使われているシステム。参加者はトランシーバーを持ち遠隔地にいる他参加者とコミュニケーションをとることができる。

これらのシステムを比較対象とすることで、本研究の目的である蓄積情報の有用性を示すことができる。

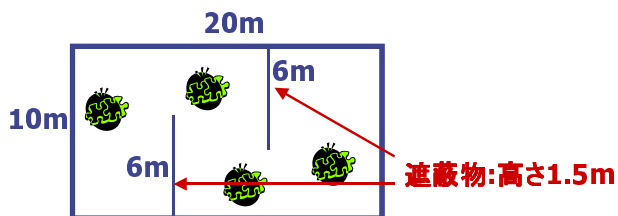


図 5: 評価実験における実験場の構図

実際にプロトタイプシステムを装着し、実験している様子を図 6 に示す。図からわかるように DPA の参加者の後ろにキーボードから位置を入力する人が付き DPA の参加者の位置を入力していく。



図 6: 評価実験中の様子

4 結果と考察

4.1 評価項目

実験における評価項目は以下の通りである。評価項目の決定には空間型共同作業の評価手法 [3] を参考とした。

- タスク達成までの時間
- 参加者の移動平均距離
- 参加者間の重複搜索範囲
- コミュニケーションに用いられた会話の文節数
- プロトタイプシステムの各機能の使用回数平均

以上の項目を、プロトタイプシステムと前述の 2 つの環境で比較する。タスク達成までの時間を調べることで、プロトタイプシステムを実際の搜索活動に使用した時の有用性について評価する。参加者の移動平均距離・参加者間の重複搜索範囲・コミュニケーションに用いられた会話の文節数を調べることで、複数参加者全体として作業・コミュニケーションが効率化されていたか評価する。また、プロトタイプシステムの各機能の使用回数平均を調べることで各機能はユーザーに受け入れられているか、提示する蓄積情報とその提示方法は有効であったかを評価する。

4.1.1 タスク達成までの時間

タスク達成までの時間の結果を表 1 に示す。単位は分で表記した。なお、タスクの達成時は全てのパズルが組み立てられた時とする。

実験結果では本研究で実装したプロトタイプシステムを用いた時が最もタスク達成までの時間がかかった。

表 1: タスク達成までの時間

プロトタイプシステム	8.2 min
比較システム A	6.3 min
比較システム B	5.4 min

この原因としてインターフェースの操作性の悪さ、ウェアラブルデバイスを装着することによる機動性の悪化、映像・音声の送受信をする際の応答速度の遅さにより余計に時間がかかってしまうことが挙げられる。また、作業内容映像を閲覧しても必ずしも自分の捜しているパズルがあるわけではなく、違う種類のパズルだった場合その分時間の無駄になってしまうことが考えられる。

4.1.2 参加者の移動平均距離

タスク達成までの各参加者の移動した平均の距離の結果を表 2 に示す。距離の単位はメートルで表記した。

表 2: 参加者の移動平均距離

プロトタイプシステム	41.4 m
比較システム A	49.3 m
比較システム B	53.9 m

実験結果ではプロトタイプシステムを使用した場合が最も移動距離が少なかった。この理由は、作業内容映像を閲覧することによって自分の探しているパズルを見つける事ができ、無駄に検索範囲を広げることなく目的のパズルを見つけることができたためと考えられる。

4.1.3 参加者間の重複検索範囲

タスク達成までに各参加者間で重複した検索範囲の結果を表 3 に示す。検索範囲の単位は平方メートルで表記した。

表 3: 参加者間の重複検索範囲

プロトタイプシステム	56.0 m ²
比較システム A	58.0 m ²
比較システム B	76.5 m ²

実験結果ではプロトタイプシステムを用いたときが最も重複した検索範囲が少なくなっている。これは、各参加者が作業範囲地図を見ることによって他の参加者

がまだ検索していない場所を捜そうとしたためと考えられる。

4.1.4 コミュニケーションの効率

タスク達成までに各参加者間で行われた会話の文節数の結果を表 4 に示す。

表 4: 会話の文節数

プロトタイプシステム	43.0
比較システム A	59.5
比較システム B	62.0

実験結果では比較システム A, B が共に会話での文節数が多かった。比較システム A, B を用いて実験を行ったときに目立った発言として「ここに～あります」と近くにいる他の参加者に話かけるものがあった。自分の担当以外のパズルを発見したときに、その情報を映像として共有することができないためにこのような発言をすると考えられる。しかし、遠く離れた参加者にはこの発言は届かず、会話の文節数がその分多くなる。また、検索範囲を確認するため相手とコミュニケーションを取っている場面も多く見られた。

プロトタイプシステムを用いたときが最も会話数が少なくなっているのは、各参加者が作業範囲地図や作業内容映像閲覧によって他参加者の作業状況や、自分の欲しいパーツの場所を把握することができたためと考えられる。

4.1.5 各機能の使用回数平均

プロトタイプシステムを使用した時のタスク達成までに使用された各機能の使用回数平均の結果を表 5 に示す。左側が本研究で実装した機能の一覧である。

表 5: 各機能の使用回数平均

作業範囲地図	6.0 回
作業内容映像生成	3.4 回
作業内容映像閲覧	1.2 回
作業履歴グラフ	1.3 回
同期型通話	3.4 回

この結果より作業範囲地図が最も使用されており、次に作業内容映像生成、同期型通信が使われていた。しかし、作業内容映像の閲覧に関しては生成に対し閲覧の回数が少なく、また作業履歴グラフに関しても利用

回数が少なかった。これは作業内容映像を生成するときは地図上にアイコンが表示されるが、アイコンだけではその内容がわからず他参加者はあまり積極的に見ようとしなないということが考えられる。このことより蓄積情報の提示方法を改善することが必要である。また、作業履歴グラフに関しては今回のタスクではその場所に誰がいてどのような作業をしていたか、という情報はタスク達成に重要な情報ではないということが考えられる。今回のタスクでは他の参加者の作業してきた範囲、その過程で見つけたもの、といった情報の方が重要である。

表2, 表3, 表4の結果, そして表5の作業範囲地図の使用回数の高さより検索活動における蓄積情報の有効性を示すことができた。蓄積情報を利用することによって、チーム全体としての作業効率の上昇を図ることができる。また、表1, 表5の作業内容映像閲覧, 作業履歴グラフの使用回数の低さから本研究で実装したプロトタイプシステムと蓄積情報の提示手法の問題点が明らかになった。この結果を元に蓄積情報の提示方法, プロトタイプシステムの改良を加え, 同様の評価実験を繰り返すことでより効果的なシステムの実現が可能である。

5 まとめ

本研究では、フィールドにおいて複数の人がチームを組んで進める協調活動を支援するウェアラブルコンピューティングを対象とし、ウェアラブルコンピュータによる支援を受けながら進めるフィールドでの協調活動をWCSCWを位置付けた。支援対象には災害時の人命救助や遺跡での発掘作業などの検索活動を想定した。このような活動は各作業者が検索した範囲や、検索過程で獲得した情報など、蓄積された情報をやり取りすることで円滑に進めることができると考えられる。

そこで、蓄積情報の提示が可能なWCSCWシステムを実装し、評価実験としてDPAを実施した。この実験はウェアラブルデバイスを利用するプロトタイプシステムに基づいており、検索活動における蓄積情報と、その提示方法の有効性の評価を行った。その結果、プロトタイプシステムのインターフェース、機能の応答速度、蓄積情報の提示方法に問題があり、作業全体の時間は多くかかってしまったものの、参加者の移動距離・重複検索範囲・コミュニケーションの効率といったチーム活動としての効率が上昇した。この結果から、蓄積情報の有効性を示すことができ、また参加者の搜

索してきた範囲を地図上に反映させる提示方法は有効であることが分かった。その他、WCSCWにおける情報提示方法の課題も明らかにすることができた。以上より、WCSCWシステムが満たすべき要件に関する知見を獲得できたと言える。

謝辞

本研究の一部は21世紀COEプログラム研究拠点形成費補助金のもとに行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Susan R. Fussell, Leslie D. Setlock, and Robert E. Kraut. Effects of head-mounted and scene-oriented video systems on remote collaboration on physical tasks. In *ACM Proceedings of the CHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 513–520, April 2003.
- [2] 桑田喜隆, 神成淳司, 大谷尚通, 井上潮. 地理情報に基づく防災情報のリアルタイム共有システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 11, pp. 3419–3428, November 2002.
- [3] H Kuzuoka. Spatial workspace collaboration: A sharedview video support system for remote collaboration capability. In *Proceedings of CHI'92*, pp. 533–540, NY, 1992. ACM Press.