

グループワークにおける作業者の疲労検出と 休憩タイミング提案システム

三井健史^{1,a)} 濱川 礼²

概要: 本研究では、グループワーク時における作業者の瞬目累積数や頭部動作をセンシングし、その時系列変化から疲労を検出後、最適なタイミングで休憩提案を行うシステムについて述べる。近年、オフィスワーカーの知的作業における生産性の向上を目的とした研究やシステムが数多く開発されてきている。しかし、そういったシステムを評価する際、作業成績のみに注目することが多く、心理的側面や身体的側面、特に疲労に重点を置いたシステムは少ない。そこで本論文では、作業中の瞬目累積数および頭部移動量をリアルタイムにセンシングし、その時系列変化からユーザの疲労を検出する手法を実装し、それらを共同作業を行う複数人に適用しグループワークにおける疲労マネジメントへの応用を提案する。

Recommendation of Resting Timing Based on Fatigue Detection of Workers and Applicate to Group Management

TAKEFUMI MITSUI^{1,a)} REI HAMAKAWA²

Abstract: In this research, we describe a system which makes a break suggestion at the optimum timing in group work from fatigue detection based on time series change of blinks and head movement. Recently, many systems that purpose of improving productivity in intellectual work of office workers have been developed. However, when we evaluate such systems, we only focus on work results, and few systems focus on psychological and physical aspects, especially fatigue. In this paper, we propose a method to detect user's fatigue from time series change of blinks and head movement in real time, and we apply them to multiple people who work together and propose application to fatigue management in group work.

1. はじめに

人間の行動状態やその空間をセンシング・解析・推定し、個々の状況に応じて環境を変化させたり、情報提示を行うことで人間の活動を支援する試みを総称してアンビエントインテリジェンス (Ambient intelligence) [1] と呼ぶ。人間の行動状態とは、頭・手の動きや姿勢・作業内容・デバイス使用頻度などの人間の行動に関する状態を指したり、集中度、眠気などの人間の心理に関する状態を指し、それらを様々なセンサデバイスを用いてセンシング・解析・推定す

ることで、ユーザに対して適応的な環境演出を行い、作業効率の向上を目的としたシステムが考案されて来ている。

小林ら [2] はユーザの顔を Web カメラで撮影し、顔中心座標位置の x 軸・ y 軸・ z 軸の変化量をそれぞれ集計し、その移動特徴から集中度推定を行う研究を提案している。濱口ら [3] の研究では、作業者の机背面部に設置した振動センサから、筆記作業時の卓上振動音をアンビエントにセンシングし、筆記作業時と思考時にリアルタイムに分類する手法を提案している。さらに作業者の状態から生産性向上を目的としたシステムとして、我々はコンピュータ作業者のキーボード打鍵情報・姿勢・視線情報からユーザの集中状態を推定し、環境音再生やコーヒーやメントールのアロマオイルを噴霧することで作業環境を最適化するアンビエントインテリジェンスシステムの開発を行ってきた [4][5][6]。

¹ 中京大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Chukyo University

² 中京大学 工学部
School of Engineering, Chukyo University

a) h11516m@st.chukyo-u.ac.jp

しかし、そういったシステムを評価する際、作業成績のみに注目することが多く、心理的側面や身体的側面、特に疲労に重点を置いたシステムは少なく、また適応範囲が個人のみであることが多く、複数人の疲労度管理にまで適応範囲を拡大し取り扱うアンビエントインテリジェンスシステムは無い。

そこで、本研究では先行研究の疲労度検出手法を応用し、グループワークにおける作業者の疲労検出と休憩タイミング提案システムを提案する(図1)。

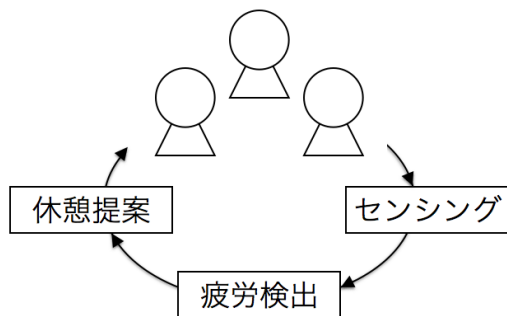


図1 システムイメージ
Fig. 1 system image

2. 関連研究

2.1 疲労検出手法・休憩提示手法

作業者の疲労検出と休憩タイミング提示の研究として、東川らの研究 [8] では、作業中の累積瞬目数変化から疲労検出を行う手法の提案とコーヒーマーカーの起動による休憩タイミング手法の提案が行われている。この研究では「ある時刻 t [秒] までの実際の累積瞬目数」と「ある時刻 t まで一定の割合で上昇していくと仮定した場合の累積瞬目数」の差を作業者の自己申告による疲労タイミングとの関係性について考察した研究である。実際の瞬目のカウントは目視にて行い、手法はリアルタイム処理でない形で提案されているものの、瞬目情報は疲労を感じるタイミングの検出に利用できる可能性があることが示されている。また、瞬目回数を観測することが直接的に眼精疲労の検出・予防にもつながる為、本研究ではこの瞬目回数を用いた疲労検出を試みる。休憩タイミング提示においても、作業自体の邪魔にならない形での提示が検討されており、コーヒーマーカーから発するコーヒの香りを利用し休憩タイミングを示している。

岡村らの研究 [9] では、ディスカッションにおける作業者の疲労の推定について述べられている。また、疲労の推定には Kinect センサを用いた作業者の貧乏ゆすりや傾きと言った特定の動作検出と音声データ解析により行われている。

本研究では、作業者の作業の妨げにならない形で疲労検

出及び休憩タイミング提示を行うことを目指す。上記研究 [8] [9] を参考に瞬目と特定の行動をセンシングすることで、疲労の検出を行う。さらに休憩タイミング提示方法に関しては、コーヒの香りを作業空間に漂わせることによって行う。

2.2 瞬目、及び行動センシング手法

瞬目取得方法は主に顔画像を画像処理することで取得する手法と、眼電位測定によって目の周辺筋肉の動きをセンシングする手法とがある。顔動画画像から画像処理を行い瞬目回数を取得する方法では、作業者の顔画像を Web カメラ等を用いて取得する必要がある。また、作業者の行動のセンシングには加速度センサーや傾きセンサーを作業者の身体に設置する方法や瞬目同様 Web カメラから取得した動画画像に対し、画像処理を用いて首をマッサージしたり、座席の背もたれにより掛かるといった特定の行動を認識することが可能である。しかし本研究はシステムをオフィス作業者を対象としているため、カメラ画像はセキュリティ上問題となる場合がある。

よって本研究では瞬目には眼電位測定を、行動のセンシングには加速度センサーや傾きセンサーによる計測を用いることとした。また、眼電位測定並びに加速度センサーや傾きセンサーには JINS 社が発売している JINS MEME (図2) [11] を用いる。



図2 JINS MEME [11]
Fig. 2 JINS MEME [11]

2.3 グループワークの円滑化を目的とした研究

グループワークの円滑化を目的とした研究・システムは数多く提案されている。グループワークの中でも特に、オンライン会議の円滑化を目的としたシステムとして、水上らの研究 [10] がある。この研究は、オンライン会議において参加者の自らの立ち位置を主張しやすくしたり、会議のまとめ役であるファシリテータの支援を行うことでオンライン会議の円滑化を図るものである。

このようにグループワークにおいて作業効率を向上させるために提案されたシステムは多くあるが、先述の通り心

理的側面や身体的側面、特に疲労に重点を置いたシステムはない。

2.4 関連研究との関連

センシングデータから疲労度推定を行う研究は上記に挙げる通りいくつか存在し、本稿の疲労検出手法は排他的なものではなく並列に処理することが可能である。

一方、作業者の疲労度推定結果に基づいた環境演出まで含めアンビエントインテリジェンスを構築している研究例は少なく [8]、それらを複数人の疲労度管理にまで拡大し取り扱うアンビエントインテリジェンスシステムは無い。本研究ではグループワークにおける参加者の疲労度合いに着目し、最適なタイミングで休憩を促すことを目標とする。

3. 疲労検出手法

具体的な疲労検出手法について述べる。疲労検出手法は我々が取り組んできた手法 [12] を用いる。

作業者が疲労を感じるタイミングを、瞬目回数の変化や首をマッサージ、座席の背もたれにより掛かるなど、前フレームでは発生していないような何らかの変化が起こったタイミングと捉える。何らかの変化が起こったタイミングを変化点とし、その変化点を検出するために、加重移動平均 (Weighted Moving Average; WMA) モデルを用いて単位時間あたりの瞬目回数 / 顔の加速度 x, y, z 軸成分 / 顔の傾き頭部ロール角・ピッチ角・ヨー角の 3 軸成分の計 7 項目のデータ変動を予測し、その予測した値と実測値とを比較し、大きく値が変動したタイミングを変化点とし出力する。

3.1 WMA モデルの構築

瞬目数や頭の動きは作業者によって大きく異なる。よって動きの予測には作業者自身の過去データから予測モデルを構築する必要がある。そこで、逐次更新することが可能なオンラインアルゴリズムである WMA モデルを用いることとした。

WMA モデルは直近の数個の値に対し異なる重み付けを行い平均値を算出するものであり、フレーム t での値を x_t とする時、直近 n フレームのデータをモデル対象とすると

$$x_{t+1} = \frac{n x_t + (n-1) x_{t-1} + \dots + 2 x_{t-n+2} + x_{t-n+1}}{n + (n-1) + (n-2) + \dots + 2 + 1} \quad (1)$$

今回は直近のフレームが最大の重みとなりそれ以前のデータには線形に重みを一定数減らしていく線形加重平均モデルを用いた。式 (1) の形式で次フレームの値の予測を行うことが出来る。またフレームが進むごとに最も古いデータをモデル対象から外し新しいフレームのデータをモデルに取り入れていく処理を逐次行う。この WMA モデルを瞬目回数 / 顔の加速度 x, y, z 軸成分 / 顔の傾き頭部ロール角・ピッチ角・ヨー角の 3 軸成分それぞれで構築

し次フレームの値の予測を行う。

3.2 変化点検出

先ほど構築した WMA モデルから推定した予測値の値に対して実測値が倍以上の値として観測されたフレームを変化点として出力する。

つまり、式 (2) で示す予測値 x_p に対する実測値 x_a であったとき、 $\frac{x_a}{x_p}$ の値である変化量 $score$ が 2 以上になったタイミングを変化点として出力する。

$$score = \frac{x_a}{x_p} \quad (2)$$

本論文では単位フレームを 1 分とし、直近 30 フレーム (30 分) のデータを用いてモデルを構築する。図 3 に示すグラフは実際のデータに対し予測を行い変化量をプロットしたものと、作業者の自己申告による疲労フレームとを示したものである。モデル構築のため先頭 30 フレームは変化量がプロットされていない。上記変化量が増大するフレームの直後に疲労申告フレームが来ていることがわかる。

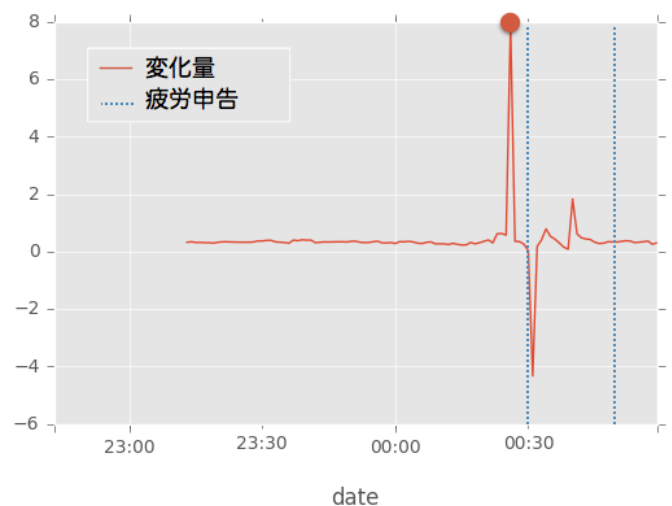


図 3 時系列での変化量の推移と疲労申告フレーム

Fig. 3 changes in time series and fatigue declaration frame

4. 休憩タイミング提示手法

休憩タイミングの提示手法において、単純なアラートではコンピュータ作業者の作業の妨げになる可能性がある。提示手法は、作業者の作業の妨げにならず、且つ、作業者自らが休憩を取ることを促すものである必要がある。そこで、作業自体に影響が少ない嗅覚情報を用い、コーヒーの香りを作業空間に漂わせることで、作業者に対し間接的に休憩を促すことが可能であると考えた。

また、作業者に対し休憩提示を行うタイミングについては、過半数以上の作業者から疲労を検出したタイミングにて休憩提示を行うものとした。

例として、システムが疲労を検出したタイミングを図 4 とする。

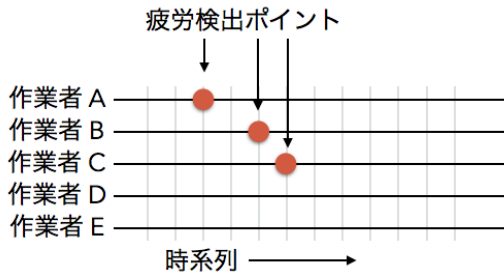


図 4 疲労検出ポイント例
Fig. 4 examples of fatigue detection points

この場合、時系列的にずれたタイミングで作業員 A, B, C の疲労を検出していることを示すものである。この疲労検出タイミングの、前 5 フレーム分に過半数の作業員からの疲労を検出していれば、そのタイミングを休憩タイミングとすることとした。これは参加者全体に疲労が見られたタイミングで休憩を挟むことが本来望ましいが、全作業員から同じタイミングで疲労を検出することは難しいため、ある程度のスパンを設けることでそれを実現した。図 4 では作業員 C からの疲労検出タイミングにて全 5 フレーム以内に他 3 名の疲労を検出している為、このタイミングで休憩提示を行う (図 5)。

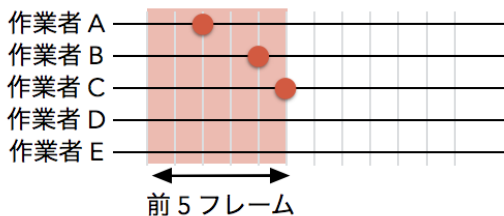


図 5 休憩提示タイミング
Fig. 5 break presentation timing

5. システム概要

本論文では、グループワークの中でも特にオンライン会議での作業員の疲労をマネジメントすることを考える。

作業員が疲労を感じるタイミングを、瞬目回数の変化や首をマッサージ、座席の背もたれにより掛かるなど、前フレームでは発生していないような何らかの変化が起こったタイミングと捉える。何らかの変化が起こったタイミングを変化点とし、その変化点を検出するために、加重移動平均 (Weighted Moving Average; WMA) モデルを用いて単位時間あたりの瞬目回数 / 顔の加速度 x, y, z 軸成分 / 顔の傾き頭部ロール角・ピッチ角・ヨー角の 3 軸成分の 7 項目のデータ変動を予測し、その予測した値と実測値とを比較し、大きく値が変動したタイミングを変化点を疲労タイ

ミングとして出力する。その後、データを集積サーバへ送信し、環境演出処理部で疲労を検出した作業員が過半数ならば、休憩を促すコーヒーの香りを作業空間に噴霧する処理を行う。

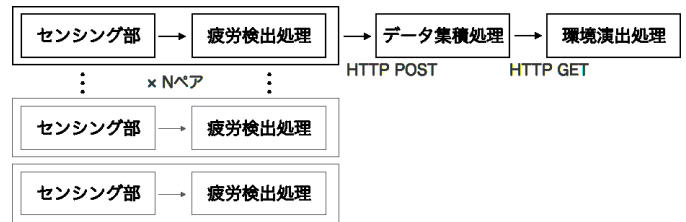


図 6 システム概要
Fig. 6 system overview

5.1 センシング部・疲労検出部

疲労検出部では JINS MEME からの瞬目及び頭部移動生データ取得後、先述の疲労検出手法通り動的に構築した WMA モデルの予測値と実測値との差である変化量を集積サーバへ送信する処理を行う。このシステムをスマートフォン上に実装した。データ送信の際に JINS MEME の BLE モジュールに振られた一意の番号を添えて送信することで、集積処理にて個人を識別する。

実装は iPhone 用のアプリケーションとして行い、それをグループ作業員全員で利用する。個人毎にデータをセンシング・疲労検出処理を行い、データを次節の集積処理サーバへと送信する。

5.2 データ集積処理部

データ集積処理部では、iPhone アプリケーションから送信されてきた疲労データを個人毎にデータベースへ保存する処理と、疲労データを環境演出装置へ送信する処理とを行う。

集積処理部ではネットワークを介してデータセンシング・疲労検出部の iPhone アプリケーションから送られてきた疲労データを集積する。

また、データのやり取りには JSON 形式にて REST API を利用し行い、デプロイサーバには Google が提供する BaaS(Backend as a Service) 環境である Firebase を用いた。

5.3 環境演出部

環境演出部ではデータ集積処理からグループワーク中の作業員の疲労検出状態から、休憩タイミングを提示する為、コーヒーの香りを作業空間に噴霧するアロマ噴霧装置の制御を行う。

アロマ噴霧は、USB 給電式のアロマ噴霧器を Raspberry Pi にて制御することで行う。Raspberry Pi に搭載された

GPIO (General Purpose Input/Output) からリレー回路を制御することで、USB 給電式のアロマ噴霧器へ流れる電流のオン / オフを切り替えることで噴霧をコントロールする。リレー回路とは、中に電磁石が仕込まれたスイッチのことであり、少ない電力でより大きな電力を制御することができるモジュールである。今回 アロマ噴霧器を制御するにあたり、Raspberry PI の USB ポートから可能な給電量では、アロマ噴霧器の動作が不安定であったため、リレー回路を用い実装を行なった。

この環境演出部は疲労検出部同様に、各作業者のもとに設置する。

6. 評価

日頃からオンライン会議を行うことが多い研究室に所属する学生に本システムを使用してもらい、疲労検出手法並びに休憩タイミング提示手法の評価、主観評価によるアンケートを実施した。

疲労検出手法に関して評価を行なった。

被験者は裸眼若しくはコンタクトレンズで矯正された視力を持ち、普段からコンピュータ作業を行っている 10 ～ 20 名の大学生 11 名である。前日にアルコール及びコーヒー等を摂取せず十分な睡眠をとり、健康状態も良好と回答した被験者に対しコンピュータ作業 (プログラミング、レポート作成、論文閲覧等) を平均 118.74 分 (1 時間 58 分)、合計 1306.39 分 (21 時間 46 分) 間行なってもらい、その間の変化点検出タイミングと作業者の自己申告による疲労タイミングとの関係性について調査を行なった。また事前実験同様、疲労の申告には自作スマートフォンアプリ上のボタンを「疲労を感じた」タイミングで押下することでロギングを行なった。83.3% の精度でシステムが作業者の疲労を検出したタイミングの ± 10 分以内に被験者が疲労を申告した。

表 1 検出タイミングと疲労申告タイミングの関係性

Table 1 Relationship between detection timing and fatigue timing

誤差 (分)	-10m	-5m	+5m	+10m	other
検出カウント数	10	14	14	2	8
%	20.8	29.1	29.1	4.1	16.7

上記評価結果の通り、疲労の検出には一定の成果をあげている。

現在はグループワークにおけるシステムの評価を行っている。評価結果はポスター発表時に掲載する。

7. 考察・展望

本研究は、グループワーク時における作業者の瞬目累積数や頭部動作をセンシングし、その時系列変化から疲労を

検出後、最適なタイミングで休憩提案を行うシステムについて述べた。我々が提案する疲労検出手法ではメガネ型デバイスを作業者に装着するだけで行うことができることで、グループワーク以外の応用アプリケーションが構築できると考える。

しかし、グループワークなど複数人が介在する環境下でのさまざまな作業を想定した場合、全ての場合において疲労を的確に検出するのは難しい可能性がある。

参考文献

- [1] Diane J. Cook, Juan C. Augusto, Vikramaditya R. Jakkula: “Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities”: Pervasive and Mobile Computing 5(4), pp.277 - 298 (2009)
- [2] 小林竜司, 中田豊久: “頭部の動きに着目した非接触型の集中度測定方法の開発”: 第 75 回全国大会講演論文集 2013(1), pp.469 - 470 (2013)
- [3] Nana Hamaguchi, Keiko Yamamoto, Daisuke Iwai, Kosuke Sato: “Subjective Difficulty Estimation for Interactive Learning by Sensing Vibration Sound on Desk Panel”: Lecture Notes in Computer Science, Springer 6439 pp.138 - 147 (2010)
- [4] 三井健史, 大橋省吾, 小林拳人, 志津野之也, 濱川礼: “個々のユーザの集中度に応じた室内環境を演出するシステム〜ヴァーチャル・スタバ〜”: 第 77 回全国大会講演論文集 2015(1), pp.653 - 655 (2015)
- [5] 三井 健史, 濱川 礼: “〜ヴァーチャル・スタバ〜 作業状態に応じた室内環境演出システムの開発と評価”: マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム, pp.1424 - 1435 (2015)
- [6] 三井 健史, 濱川 礼: “入力モード推定に基づく作業環境音最適化アンビエントインテリジェンスシステム”: インタラクション (2016)
- [7] 厚生労働省: “平成 24 年 労働者健康状況調査” 入手先 (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/h24-46-50.html>) (参照 2016-12-16).
- [8] 東川 知生, 山本 景子, 倉本 到, 辻野 嘉宏: “デスクワーク時における瞬目に基づく疲労蓄積の検出と適切な休憩タイミングの提示”: 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , pp. 1 - 6, (2012)
- [9] 岡村 瞬, 梶原 祐輔, 島川 博光: “ディスカッションにおけるユーザ状態の推定”: 情報科学技術フォーラム講演論文集, pp. 409 - 410, (2015)
- [10] 水上 祐輔, 喜安 伸, 杉浦 裕太, 村井 裕実子, 常盤 拓司, 太田 直久: “素早い意思決定を促すオンラインコミュニケーションシステムの提案”: ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , (2009)
- [11] JINS : ES — PRODUCTS — JINS MEME 入手先 (<https://jins-meme.com/ja/products/es/>) (参照 2016-12-16).
- [12] 三井 健史, 濱川 礼: “ユーザの瞬目累積数および頭部移動量を用いた疲労検出手法の提案”: 第 171 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会