

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

筆記動作から判別した学習状況の遠隔
共有

高田 沙織

修士（工学）

(コンピュータサイエンス専攻)

指導教員 高橋 伸

2014年3月

概要

遠隔地にいる親しい間柄の人と、お互いの状況や生活している雰囲気さをさりげなく伝え合う研究やサービスは数多く存在し、特に日常的な動きや、日用品をデバイスとして用いているものが多い。

本研究では、それを自律学習の場面に応用することで、親しい友人とお互いの学習状況を共有できないかと考えた。紙と筆記具における学習形態の中で、ユーザの学習状況を判別するために、我々は筆記具に着目した。筆記具の頭部に加速度センサを取り付けることで、学習時における筆記具の状態を認識し、そこからユーザが学習しているかどうかの判別を行った。また、学習状況の共有をするために LED の光による情報提示手法を用いた。提示部分においては、光がユーザの学習の妨げになることがないように、評価実験を交えて提示方法の検討を行った。

目次

概要	ii
第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 研究のアプローチ	1
1.3 論文の構成	2
第2章 関連研究	4
2.1 遠隔地へ情報提示を行う研究	4
2.2 学習の場へ応用した研究	5
2.3 研究の位置づけ	5
第3章 学習状況の判別手法	7
3.1 概要	7
3.2 情報取得の際に考慮すべき点	7
3.3 筆記具の状態パターン	8
3.4 各状態パターンにおけるセンサ値	8
3.5 加速度センサの変動量	11
3.6 筆記具の状態パターン判別	11
第4章 学習状況の遠隔共有方法	13
4.1 概要	13
4.2 情報提示の際に考慮すべき点	13
4.3 情報の提示方法	13
第5章 プロトタイプの実装	14
5.1 システム概要	14
5.2 Arduino へのデータ送信方法と提示方法	14
第6章 情報提示部の評価実験	17
6.1 実験概要	17
6.2 実験結果	18
6.3 実験の考察	21

第7章	情報提示部の改良	22
7.1	概要	22
7.2	色による情報提示	23
7.3	筆記時間ゲージ機能	23
第8章	評価実験	25
8.1	実験概要	25
8.2	実験結果	26
8.3	実験の考察	28
第9章	結論	29
	謝辞	30
	参考文献	31

目次

1.1	システムのイメージ	2
3.1	筆記具の状態パターン	8
3.2	使用した加速度センサ WAA-010 (ワイヤレステクノロジー社製)	9
3.3	加速度センサを取り付けた筆記具	10
3.4	加速度センサから得たデータの推移図	10
3.5	筆記具の状態判別の流れ	12
5.1	プロトタイプハードウェア構成	15
5.2	制作したプロトタイプ	15
6.1	実験で使用した時系列図 (下は模範回答)	17
6.2	実験のイメージ	18
6.3	筆記状況のチェック結果	19
6.4	アンケート結果	19
7.1	改良した提示部	22
7.2	状態パターンごとのLEDの色の割り当て	23
7.3	筆記時間ゲージが光る様子	24
8.1	利用した問題	25
8.2	実験の様子	26
8.3	アンケート結果	27

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

人が授業を受ける以外の場面で学習をする際、一人で学習を行う場合もあれば、親しい友人と一緒に集まって学習する場合もある。誰かと一緒に学習をする場面では、お互い不明な点を教え合ったり、時には友人に対して競争意識を感じたりすることもあるだろう。また、授業で課題が出た際には、自宅で一人で取り組みつつも、仲の良いクラスメイトに電話やメールで状況を聞いたり、アドバイスを求めた経験のある方は多いのではないだろうか。

このように、学習に取り組む場面において、共に学習をする友人の存在は大きいものと考えられる。そこで、一人で学習を行う場面において、遠隔地にいる親しい友人と学習状況を共有できないだろうかと考えた。また、共有をすることで先述したようにアドバイスを求める等のコミュニケーションのきっかけになったり、競争意識を感じて学習意欲の向上につながったりすることを期待している。

本研究では紙と筆記具を用いた学習形態の上で、ユーザの学習状況を遠隔地にいる別のユーザと共有できる手法の開発する。また、本研究が提案する手法により、1人で学習している状況でも、遠隔地にいる相手ユーザと共に学習しているような感覚を得ることを目的とした。ここで情報を共有する相手ユーザとは、ある程度の情報を共有しても差支えがなく、普段から共に学習を行うような親しい間柄の友人等を想定している。学習に取り組んでいる熱心な仲間がいるという情報を他のユーザへさりげなく伝えることが本研究の狙いである。

1.2 研究のアプローチ

本研究では、ユーザの学習状況を判別するために筆記具の動作に着目した。筆記具の頭部に加速度センサを取り付け、そのセンサの動きから学習時における筆記具の状態を判別する。さらにそこからユーザが学習しているかどうかの判別を行う。システムは一般的に市販されている筆記具に小型のセンサを取り付けるのみなので、ユーザへの身体的負担はほとんど無い。さらに、学習環境を変えてしまうような特殊な機器も必要としないので、ユーザの学習の妨げになることがなく学習状況を判別することができる。遠隔地の相手との学習状況の共有には LED の光による情報提示手法を用いた。提示部分においては評価実験を交え、ユーザ

にとって学習している雰囲気伝わりやすく、かつ好意的に受け入れられるような提示方法の検討を行った。また、遠隔地のユーザへ提示されるのは LED の光というおおまかな情報のみのため、情報が伝わりすぎてしまう恐れもない。

システム全体のイメージは図 1.1 のようになる。ユーザが自宅にて 1 人で学習しているとする。また、遠隔地で別のユーザも自宅に 1 人でいるとする。ここで別のユーザとは、学習をしているユーザが普段から共に学習を行うような親しい友人等を想定している。ユーザの筆記具に取り付けたセンサから取得したデータ情報により、ユーザの筆記具の状態を判別し、それをもとに学習状況を判別する。学習を行っているとは判別できる場合は、遠隔地の別のユーザへ光で提示を行うことによって、情報を共有する。同様にして、この別のユーザが学習をしていると判別した場合、ユーザは提示を受ける。

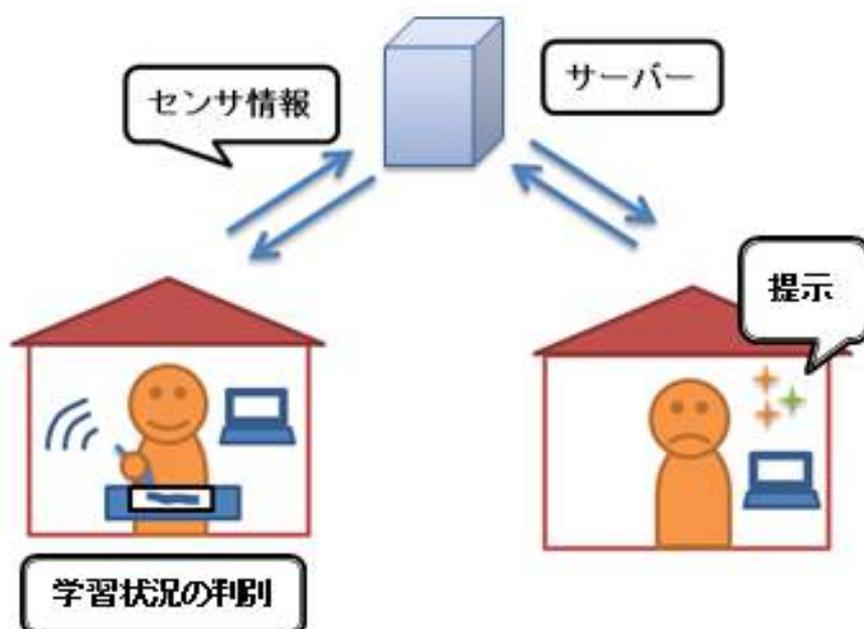


図 1.1: システムのイメージ

1.3 論文の構成

本章では研究の目的やアプローチ手法について述べた。第 2 章では関連研究について述べる。主に遠隔地のユーザへ情報提示を行っている研究や、情報提示手法を学習の場へ応用している研究を主に挙げる。第 3 章では筆記具の状態パターンについて検討し、それらを判別する手法について述べる。その後、第 4 章で光による情報提示をどのように行うのかを説明する。第 5 章で実装したプロトタイプについて説明し、第 6 章ではそれを用いて行った実験について述べる。第 7 章で

は実験をもとに情報提示部分を改良した件について説明し、第 8 章ではそれを用いた実験と考察について述べる。最後に第 9 章で結論をまとめる。

第2章 関連研究

2.1 遠隔地へ情報提示を行う研究

NTT は、家族のような親しい間柄では、非明示的な情報（動き方、気配、存在などの情報）に日常的に接することで相手を身近に感じられると考え、『つながり感通信』として提唱している [1]。このように遠隔地にいる親しい間柄の人の情報に接し、相手を近くに感じられるようなサービスや研究は数多く存在している。このようなサービス・研究では日用品を利用したり、日常における自然な行為に着目したりしたものが多く見られる。

象印マホービンが提供しているみまもりホットラインは、無線通信機を内蔵したポットを利用して、一人暮らしの高齢者を遠隔地に住む家族が見守る目的のサービスである [2]。高齢者がポットを使用することで、その情報がインターネットを通じて家族へ送信され、高齢者が元気に生活していることを知ることができる仕組みになっている。

酒造らは、障子越しに隣の部屋の雰囲気伝えることをイメージとした Shoji システムを開発した [3]。このシステムでは、部屋の温度・明るさや相手の存在・移動・感情などの情報を、専用の端末で LED の色・明るさで表現し、遠隔地の相手へ伝える。

Chung らは飲むという行為に着目し、遠隔地の相手と一緒に飲んでいるような感覚を提供する Lover's Cup を開発した [4]。この研究では対になっている2つのカップを利用しており、片方のカップを持つともう一方が振動し、カップに口づけて飲むともう一方のカップに内蔵された LED が光る。

辻田らは、遠距離恋愛中のカップルを対象としたシステム Sync Decor を開発した [5]。このシステムでは部屋のライトやごみ箱といった家具の動作を、遠隔地の相手のものと同期連動させることで、仮想的な同居感覚を提供している。

Grevet らは、一人で食事をする時でも他の人と一緒に食べていると感じられるようなシステムを開発している [6]。このシステムでは部屋設置したディスプレイ上に、遠隔地にいる他のユーザが今食事をしているかの状況を表示することで情報提示を行っている。

2.2 学習の場へ応用した研究

次に、遠隔地の相手へ情報を提示することを、学習の場へ応用した研究について述べる。

栗原らは、遠隔での共同学習の支援を目的とした AgoraDesk という学習机型のシステムを開発した [7]。このシステムでは机の正面に設置したディスプレイで映像を共有し、遠隔地の相手とあたかも対面して学習しているような感覚を提供している。机上には書画カメラを設置しており、遠隔地間で資料や書いた物を共有することで、共同作業ができるようになっている。

Bachour らは大学での自習やグループ学習において、共同作業の促進や、TA (ティーチングアシスタントの略で、授業のアシスタントをする人) が効率良く生徒達へアドバイスを行うことを目的とした Lantern を開発した [8]。Lantern は小さいランプ状のポータブルデバイスで、ユーザは Lantern をまわすことで現在取り組んでいる学習内容とそのレベルを選択する。学習内容とレベルには予め色と彩度を割り当てておき、選択した内容は LED 上で表現される。これにより、自分の学習状況の情報を周囲へ発信することができ、他のユーザは自分と同じ分野を学習している人をすぐに見つけることができる。また、Lantern を押すと LED が点滅するようになっており、これは TA の呼び出しサインとして利用されている。TA は Lantern が点滅しているユーザの元へ行くことで、スムーズに対応が行える。

自律学習に着目したものでは、吉原らの Enlight-Pen があげられる [9]。この Enlight-Pen システムは e-learning システムと連携した自律学習支援システムであり、LED を取り付けたペン 1 本 1 本を、ユーザ 1 人 1 人のアバターとみだてて利用している。ユーザが e-learning システムにログインすると、そのユーザのアバターに対応するペンの LED が点灯する。加えて、ユーザの学習進捗状況を LED の光の個数で表している。これにより、自分がどのくらい学習を進めたかを視覚的に把握できるようになっている。また、他のユーザの学習進捗状況を知ることによってライバル意識を喚起させ、学習意欲の向上や学習の継続に繋がるのを狙っている。

2.3 研究の位置づけ

2.2 節で情報提示手法を学習の場へ応用した研究を述べたが、栗原らの研究では対面して共同で学習をしている感覚を提供しており、個別での自律学習を想定している本研究とは異なっている。また、Bachour らの研究も、光で情報提示を行う点は同じだが、大学の教室といった人の集団がいる空間内での利用を想定しており、本研究とは目的が異なっている。自律学習に着目しているという点では、2.2 節であげた Enlight-Pen が近いと考えられる。e-learning を使った学習形態は近年普及しつつあるが、小学校から高等学校くらいまでの学生生活においては、従来の紙と筆記具で学習を行う機会はまだまだ多くあると考えられる。本研究では、こ

の紙と筆記具を用いた従来の学習方法の中で、筆記具の状態から学習状況を判別する。そして、その情報を他の学習者側へ提示することで共有し、共に学習しているような感覚を得ることを目指した。

第3章 学習状況の判別手法

3.1 概要

本研究では筆記具を用いて紙の上で筆記を行うといった従来の学習スタイルにおいて、筆記を行っている、筆記具を置いている等といった状態を判別し、それをもとにしてユーザが学習をしているかの判別を行う。本章では、まず筆記具の状態や動作パターンを4つに分類し、各パターンを判別するために筆記具に加速度センサを取り付け、実際に筆記を行った。そこから得た加速度センサの動きの特徴をもとに、筆記具の状態の判別を行う。

3.2 情報取得の際に考慮すべき点

まず、ユーザの学習状況を判別する手法として、筆記具にセンサを取り付ける手法を用いた経緯について説明する。

遠隔地にいる相手の状況を知る方法のとして、ビデオチャット等による映像の共有が挙げられる。ユーザの学習状況を判別する為の方法の1つとして、ユーザのデスク等にカメラを設置してユーザの手元付近を撮影し、映像あるいは画像から学習しているかを解析するといった判別手法を考えた。しかし、本研究では部屋で1人で学習する場面を想定しており、カメラの設置はユーザに監視されているかのような感覚を与えてしまう恐れがある。映像ではなく、マイクを用いて筆記音等の学習音を共有する方法も考えたが、これもプライバシー的な問題がある。例えば家族との会話や、ユーザにとって他人聞かれたくない音声までもが拾われてしまう可能性がある。そのため、学習の判別にカメラやマイクを用いることは避けることにした。また、使用するシステムや機器が学習者の負担になったり、学習の妨げになったりすることが無いよう、なるべく普段と変わらない自然な状態で学習状況の判別をしたいと考えた。

以上の理由から、学習をする際に使用する筆記具に加速度センサを取り付け、そこから得たデータを元に学習状況を判別するという手法を選択した。判別に使用するのは筆記具の動きのみなので、相手に情報が伝わりすぎてしまう心配はない。また、センサはユーザが普段使用している市販の筆記具に取り付けるのみなので、身体的な負担はほとんどなく利用することが可能である。

3.3 筆記具の状態パターン

筆記具を用いて学習をする際、筆記具の状態は大きく分けて4つのパターンが考えられる。まず「(a) 筆記具を置いている」状態。これは筆記具が机等に置かれており、ユーザが筆記具に触れていない状態である。2つ目は「(b) 筆記具を持っている」状態。ここではユーザが筆記具を手に持ち、手を止めて静止している状態とする。学習中に何か考えているような場面で見られる状態と考えられる。3つ目は「(c) 筆記具を動かしている」状態。ここで動かしているとは、筆記行為以外で動かしている状態とする。例えば、いわゆるペン回しといった、手指で筆記具を動かす動作等が考えられる。また、「(a) 筆記具を置いている」状態から筆記具を手に持つ持ち上げる動作もこちらに含む。最後に「(d) 筆記具で筆記を行っている」状態。これはユーザが筆記具を手に持ち、実際に筆記を行っている状態である。以上の各状態パターンを図3.3に示す。



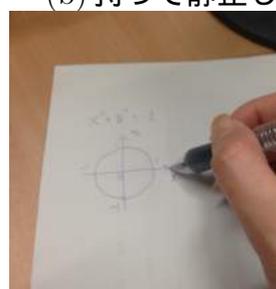
(a) 置いている



(b) 持って静止している



(c) 動かしている



(d) 筆記を行っている

図 3.1: 筆記具の状態パターン

3.4 各状態パターンにおけるセンサ値

筆記具に取り付けた加速度センサより得た値から、学習者の学習時における行動識別を行った研究がある [10]。こちらを参考に本研究でも、筆記具の頭部に加速度センサを取り付け、3.3節で述べた筆記具の各状態パターンにおいて、加速度センサ値にどのような特徴が見られるのかを検証した。

ここで加速度センサはワイヤレステクノロジー社製の小型無線ハイブリッドセンサ (WAA-010) を用いた (図 3.2)。筆記具は市販されているもので、センサを取り付ける為に頭部が平たい物を選択した。実際にセンサを取り付けた筆記具を図 3.3 に示す。

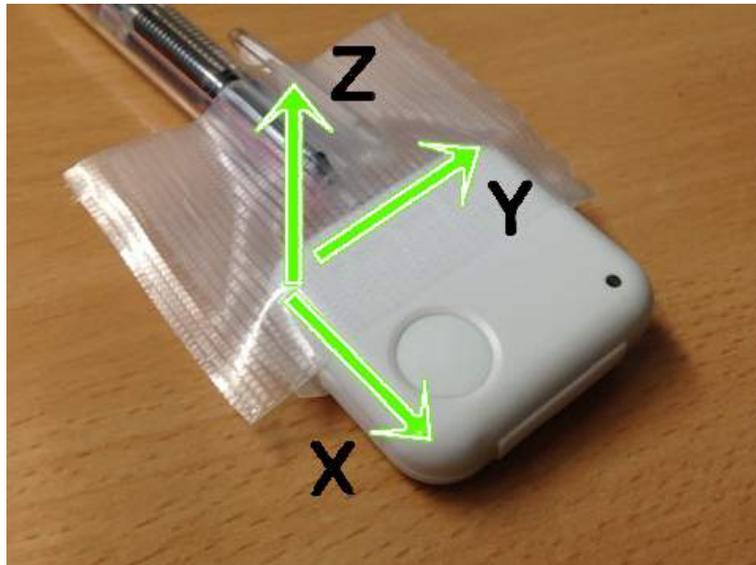


図 3.2: 使用した加速度センサ WAA-010 (ワイヤレステクノロジー社製)

次に、この加速度センサを取り付けた筆記具を使用して、その時のセンサの値を取得した。データの取得には WAA-010 付属のソフト「AccelViewerHybrid-II」を利用した。このソフトでは取得したセンサの値とそれを 3 次元値の推移図に表示したものを表示することができる。センサ値取得の際のサンプリング周期は 10ms である。データは Bluetooth 経由で PC 側へ送信した。得られた 3 次元値推移図を 3.4 に示す。

グラフの縦軸は加速度値 (mG)、横軸は経過時間 (s) を表している。図 3.4 内のはじめの取得開始時の (a) の部分では、各値に動きは見られず、x と y が 0 に近い値、z が重力加速度値に近い値を取っていることから、センサが水平な向きにあることがわかる。実際に、筆記具を机の上に置いている状態である。次の (c) の部分では不規則な振幅があり、筆記具に動きがあったことがわかる。実際は筆記具を持ち上げる動作を行った瞬間である。(b) の部分は、動きはあまりないものの、(a) の状態と異なりセンサが水平状態にはないことを示している。実際は筆記具を手を持ち、手を静止している状態である。次の (c) の部分は筆記具を軽く振ってみた瞬間で、不規則で大きい振幅が見られる。その後、手を静止した (b) 状態の後の (d) の部分は、(c) の状態よりも小さい振幅が続いている。これは実際に筆記具で筆記を行っている状態である。再び手を静止した (b) 状態の次の (c) の部分は、筆記具を

¹<http://www.atr-p.com/sensor10.html>



図 3.3: 加速度センサを取り付けた筆記具

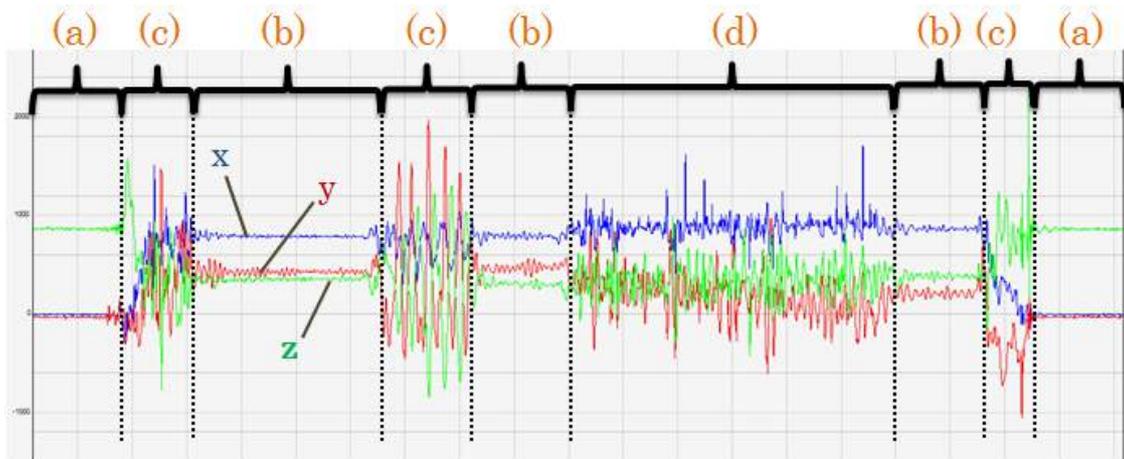


図 3.4: 加速度センサから得たデータの推移図

机の上に置く動作を行った瞬間である。その後の (a) は取得開始時と同様、筆記具を置いている状態である。まとめると、(a) 部分が「筆記具を置いている」状態、(b) 部分が「筆記具を持って静止している」状態、(c) 部分が「筆記以外で筆記具を動かしている」状態、(d) 部分が「筆記具で筆記を行っている」状態となる。

3.5 加速度センサの変動量

節で取得したグラフから、筆記具の状態パターンにより加速度センサの値に特徴が見られることがわかる。加速度センサの値から筆記具の状態を判別するために、本研究では加速度センサがどのくらい動いたかに着目し、次のように加速度センサの変動量を定義した。

まず 10ms ごとに加速度センサの x, y, z 値を取得し、10 個の値を平均化する。その時の x 軸の加速度値を acc_x 、現在時刻を t とし、 $|acc_x(t) - acc_x(t-1)| + |acc_x(t-1) - acc_x(t-2)| + \dots + |acc_x(t-9) - acc_x(t-10)|$ を計算する。 y 軸、 z 軸についても同様に計算する。その後、 x, y, z の総和を取り、加速度センサの変動量とした。

3.6 筆記具の状態パターン判別

次に、5.2 節で決めた加速度センサの変動量を用いて、筆記具の状態の分岐判別を行う。まず変動量の値から、筆記具が静止しているか、動いているかの判別を行う。

筆記具が静止している場合、変動量は比較的小さい値を取るため、変動量が予め決めた閾値以下の値を取る場合は、筆記具は静止状態にあると判別するよう設定した。筆記具が静止していると判別した場合、次に筆記具を置いている状態なのか、筆記具を手を持って静止している状態のどちらなのかを判別する。この2つの状態では3.6節で述べた通り、センサが取る値が異なっている。ここでは x 軸の値を利用し、 x 軸に傾きがある場合は筆記具を持って静止している状態、 x 軸に傾きが無い場合は筆記具を置いている状態と判別する。

変動量が比較的大きい値を取る場合、つまり予め決めた閾値より大きい値を取る場合は、筆記具は動いている状態にあると判別するよう設定した。筆記具が動いていると判別した場合、その次に筆記具で筆記を行っている状態なのか、ただ筆記具を動かしている状態のどちらなのかを判別する。節で取得したグラフを見ると、筆記具を持ち上げたり振ったりする動作の時は、筆記を行っている時よりも振幅が大きく、加速度センサの動きが大きいことがわかる。そのため、さらに閾値を決め、変動量はその閾値以下の値を取る場合は筆記を行っている状態、閾値より大きい値を取る場合は筆記以外で筆記具を動かしている状態と判別するよう設定した。

以上をまとめると図 3.5 のようになる。

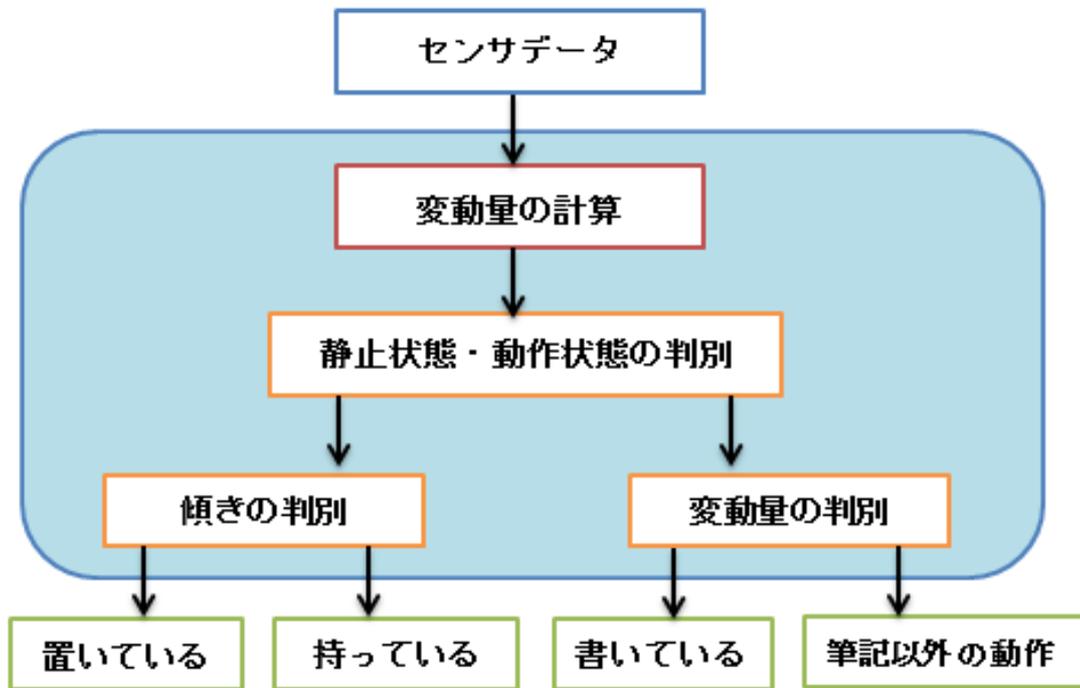


図 3.5: 筆記具の状態判別の流れ

第4章 学習状況の遠隔共有方法

4.1 概要

本研究では筆記具の状態から学習状況を判別した後、その情報を遠隔地のユーザへ提示し、共有を行う。本章では、判別した情報をLEDの光を用いて提示する手法について述べる。

4.2 情報提示の際に考慮すべき点

まず、遠隔地のユーザへ情報提示を行う手法として、LEDの光を用いた経緯について説明する。

遠隔地のユーザへおおまかな情報を伝える手法はいくつか考えられる。本研究でも、光以外に音を利用した提示や、振動を利用した提示、物を動かす提示などを考えた。しかし本研究ではユーザが自宅で1人で学習している状況を想定しており、比較的静かな環境で利用するものだと考えられる。そこで急に音が鳴ったり物が動いたりすると、ユーザを驚かせてしまったり、学習の妨げになったりしてしまうのではと考えた。そのため、視覚的に情報を提示することにし、光による提示手法を選択した。

4.3 情報の提示方法

3.6節で加速度センサの値からユーザの筆記具の状態を判別すると述べた。ここではその判別した筆記具の状況に応じて、受取り側である遠隔地ユーザのLEDの光をどのように変化させるのかについて述べる。

筆記具を手に持っている状態の時、ユーザは学習を行っていると考えられる。そのため、筆記を行っている状態、筆記具を持って静止している状態の時はLEDの光を点灯させることにした。また、明るさは頻繁に筆記を行っている状態の方が明るめに光るように設定した。

筆記具を手に持っていない状態の時、ユーザは学習を行っていない場合が多いと考えられる。そのため、筆記具を置いている状態の時はLEDの光を消灯させることにした。

第5章 プロトタイプの実装

第3章では筆記具の状態を判別する過程、第4章では情報提示の手法について述べた。本章では、これを形にするべく作成したプロトタイプについて説明する。

5.1 システム概要

まず、筆記具については3.6節で利用したものと同様に、小型無線センサ(WAA-010)を市販の筆記具の頭部に取り付けた。WAA-010の主な仕様を表5.1に示す。

サイズ	39.0mm(W) × 44.0mm(H) × 12.0mm(D)
重さ	20g
稼働時間	約6時間
サンプリング周波数	最大1000Hz
無線送信	Bluetooth Ver2.0
通信距離	約10m
加速度センサ機能	検出範囲、±2G/±4G/8G/16G

表 5.1: センサ(WAA-010)の仕様

センサで取得したデータはBluetoothによる無線通信でPC側へ送信した。センサからデータを受信するプログラムはC++で記述した。開発環境はMicrosoft Visual Studio 2010である。

提示部分ではPCにUSB経由で接続したArduino Unoのボードに単色LEDを1つ取り付け、制御を行った。この制御するプログラムはArduino言語で記述した。開発環境はArduino IDEである。以上を組み合わせたハードウェア構成を図5.1、実際に制作したプロトタイプの画像を図5.2に示す。

5.2 Arduinoへのデータ送信方法と提示方法

加速度センサから受信した値から、まず節で述べたように変動量を計算する。そして、その変動量をArduino側へ送信する為の過程だが、Arduinoは0~255の値

²<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

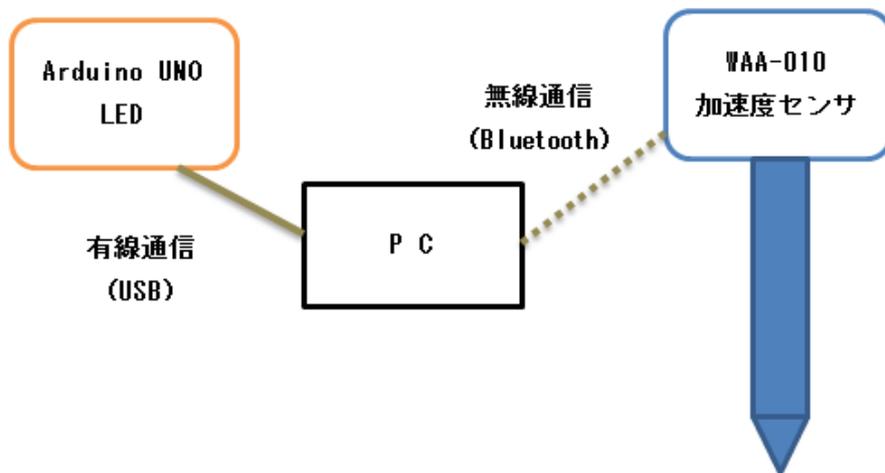


図 5.1: プロトタイプハードウェア構成

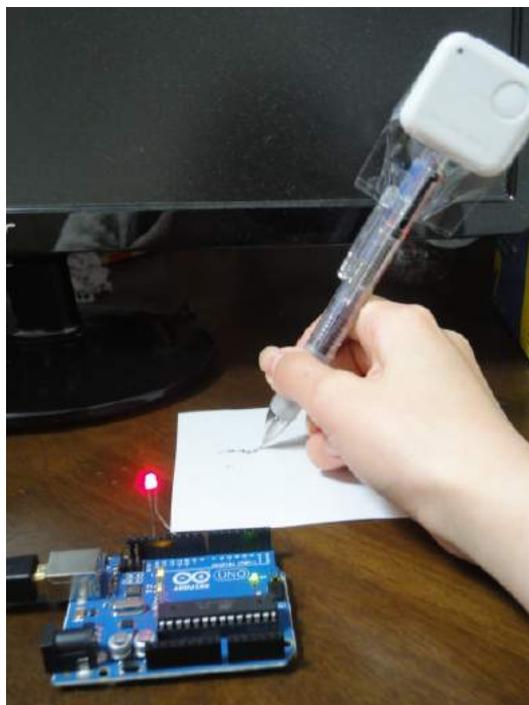


図 5.2: 制作したプロトタイプ

しか受信することができない。そのため、計算した変動量は0~255の範囲になるよう適当に調節してから Arduino 側へ送信している。

次に Arduino 側へ送信した値を利用してLEDを制御する手順を述べる。今回は2通りの制御方法を用いた。

(1) 変動量を直接用いて、LEDの明るさを制御する

加速度センサの変動量をそのままLEDの光の制御に用いる。つまり、処理して Arduino 側へ送信した変動量をそのまま光の明るさに対応させる。筆記具の動きに連動して、連続的かつ細かくLEDの明るさの強弱が変化する提示方法である。

(2) 変動量によって学習状況を判別し、LEDの明るさを変化させる

4.3節で述べたように、加速度センサの変動量から筆記具の状態パターンを判別し、それに応じてLEDの光を変化させる。筆記具を持って静止している状態と、筆記具を持って筆記を行っている状態では、Arduino 側へ送信した変動量において二桁程度の値が続く。この時はユーザは学習していると判別し、LEDを点灯する。筆記を行っている方が変動量の値は大きく、その時の方がより明るく光るように設定した。変動量が一桁の値が続く場合は、ユーザは学習をしていないとし、LEDを消灯する。筆記以外で筆記具を動かしている場合では、筆記を行っている状態よりも変動量が三桁を越えるような大きい値が続く。この時も置いている状態と同様にLEDを消灯するように設定した。

このように、Arduinoに送信した変動量の値を筆記具の状態パターンによって分け、LEDの明るさを変化させるという提示手法である。こちらの提示手法は、提示手法(1)と比べるとゆるやかに明るさが変化する。

第6章 情報提示部の評価実験

6.1 実験概要

5.2節で記述した「(1) 変動量を直接用いて、LED の明るさを制御する」提示方法と「(2) 変動量によって学習状況を判別し、LED の明るさを変化させる」提示方法の比較・検討を行いたいと考え、評価実験を実施した。

今回の目的は各提示方法において、ユーザは相手の学習状況を感じることができるか、相手が学習している雰囲気を感じることができるかとした。被験者は20代の大学生・大学院生合わせて5名に協力して頂いた。実験では、学習者（被験者とは異なる）がセンサを取り付けた筆記具を使用して3分間学習を行った。ここで学習者は、読む時間・書く時間を予め指定して学習を行った。具体的には、実験開始からまず5秒間くらい問題を読む（筆記具を持って手を静止しておく）、その後30秒間くらい問題を解く（筆記具で筆記を行う）といったように、3分間の動きを指定した。学習者が学習をしている間、被験者にはその際のLEDによる提示を見てもらい、筆記を行っていると思った時間を図6.1のように時系列上にチェックしてもらった。被験者には詳しい提示方法については伝えず、「相手が筆記を行っている」とLEDが光る」とだけ伝えた。ちなみに、遠隔地の相手との情報共有を目的としている為、被験者から学習者の姿は見えないようにして実験を行った。これを提示方法(1)と提示方法(2)で2回の実験を行った。実験後には学習している雰囲気を感じられたかのアンケートをとった。実験のイメージを図6.2に示す。

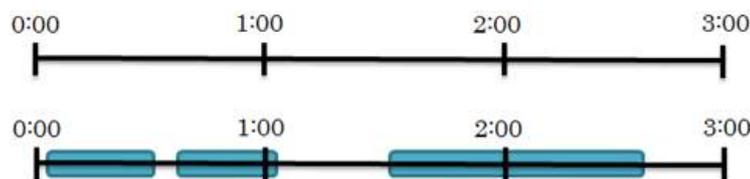


図 6.1: 実験で使用した時系列図（下は模範回答）

提示方法(2)の方に関しては、この時はまだ筆記具の状態判別がうまく行えなかった為、誤判別が無いよう Wizard of OZ 法を用いて実験を行った。Wizard of OZ 法とはシステムのシュミレーション方法の1つで、ユーザの振る舞いにあわせて人が裏でシステムを動かすことで、あたかもシステムが自動で動いているかの

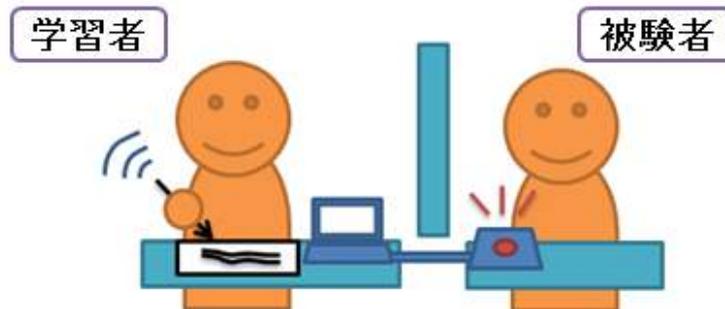


図 6.2: 実験のイメージ

ようにユーザ側へ見せる手法である。つまりこの提示方法(2)の方の実験では、センサから取得した変動量をもとにシステムが筆記具の状態を判別できたと仮定して、学習者は実際には学習を行わずに裏で提示部分のLEDの制御を行っていた。先ほど読んでいる時間・書いている時間を予め指定して学習者は学習を行ったと述べたが、具体的には書いているに相当するタイミングでLEDを明るく点灯、読んでいるに相当するタイミングでLEDを少し弱めの明るさで点灯、筆記具を置いたタイミングでLEDを消灯といったように制御を行った。

6.2 実験結果

筆記状況についてチェックしてもらった結果、「(1) 変動量を直接用いて、LEDの明るさを制御する」提示方法と「(2) 変動量によって学習状況を判別し、LEDの明るさを変化させる」提示方法ともに書いている状況はおおむね伝わっていた。実際の回答を図6.3に示す。上の図が提示方法(1)に対する被験者Aの回答、下の図が提示方法(2)に対する被験者Bの回答である。なお、今回の目的は相手が学習している雰囲気を感じ取るための、相手の筆記状況をきっちり正確に知る必要はなく、正確性については問わなくて良いと考えた。

また、アンケートでは提示方法(1)、提示方法(2)のそれぞれについて、相手が学習している雰囲気を感じられたかについて「a. 感じられた」、「b. やや感じられた」、「c. あまり感じられなかった」、「d. 感じられなかった」の4段階から選んでもらった。その結果、提示方法(1)に関しては「a. 感じられた」と答えた人はおらず、「b. やや感じられた」と答えた人が4名、「c. あまり感じられなかった」と答えた人が1名であった。提示方法(2)に関しては「a. 感じられた」と答えた人が3名、「b. やや感じられた」と答えた人が1名、「c. あまり感じられなかった」と答えた人が2名であった。このアンケート結果をまとめたものを図6.4に示す。

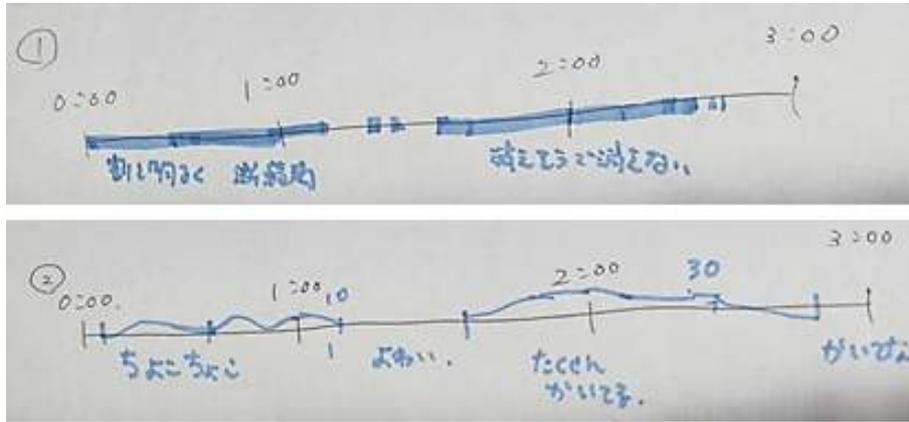


図 6.3: 筆記状況のチェック結果

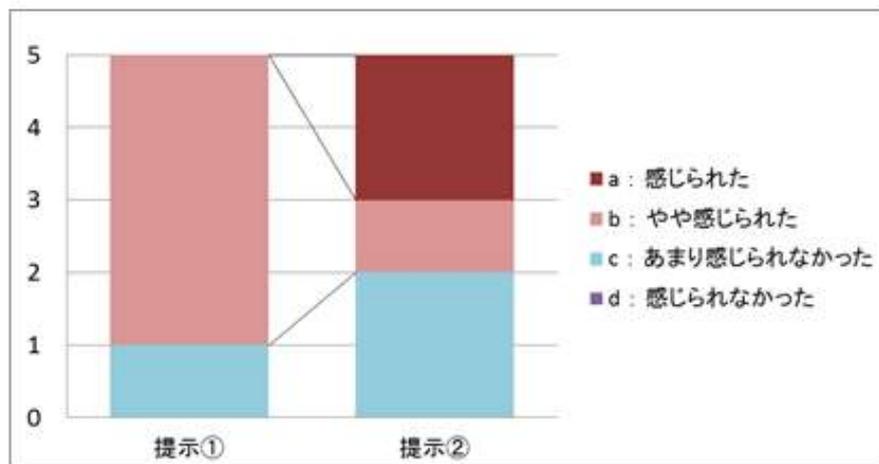


図 6.4: アンケート結果

また、頂いたコメントは次の通りである。

提示方法 (1) に関するコメント

- 光り方が一定でなく、ノイズなのか変化なのか時々わからなかった。
- 光の強弱がわかりづらく、点灯していない時以外は学習をしているのかと感じた。
- 頻繁に明るさが変化するため、もし自分が勉強していたら気になりそう。
- 頻繁に書いている感じを受けたが、消えそうになるほど弱い時もありそのへんがわかりづらかった。
- 頻繁に動いているという変化がわかった。今考えてるのか、読んでいるのか等、相手の状況を想像できた。

提示方法 (2) に関するコメント

- 強弱がわりとよくわかって、自分の作業の邪魔にもならなさそう。
- 相手の動きが細かくわかった。
- 勉強している雰囲気を感じとることができた。
- 離散的に変化するので筆記具を持っているということは伝わってきたが、(1) と比べると変化が少ない気がした。

その他コメント

- (両方の提示方法で)勉強しているのか、ただ筆記具を動かしているのかよくわからない時があった。
- 勉強しても考えている時は筆記具を動かさないのでは？

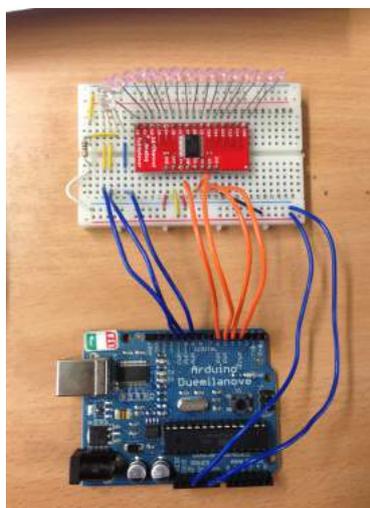
6.3 実験の考察

実験の結果、「a. 感じられた」、「b. やや感じられた」を合わせたポジティブな回答自体は提示方法(1)の方が多かったが、「a. 感じられた」という回答だけを見ると提示方法(2)の方が多という結果になった。また、提示方法(1)、提示方法(2)のそれぞれに対する回答を比較したところ、提示方法(1)の方に対してポジティブな回答したのが2名、提示方法(2)の方に対してポジティブな回答をしたのが2名、どちらも「b. やや感じられた」と同じ回答したのが1名で、2種類の提示方法について、感じ方にそれほど大きな差は無いと考えられる。しかし頂いたコメントの方を見ると、提示方法(1)の方では相手の頻繁な動きが見てとれる一方で、頻繁な明るさの変化が気になる、光り方がわかりづらいといったネガティブなコメントが目立った。また、その他のコメントから、筆記具を持っているが手を静止している状態がやや伝わりにくかったのかと考えられる。

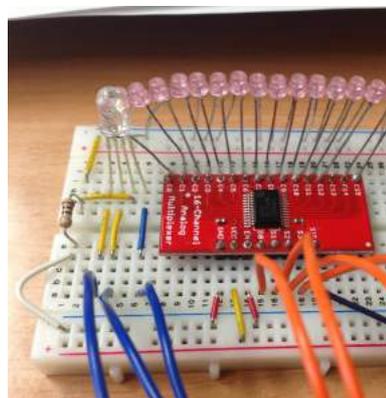
第7章 情報提示部の改良

7.1 概要

6章で行った実験を元に、情報提示部の改良を行った。実験では頻繁に変化する明るさに対しては気になる・疲れるというネガティブなコメントが目立っていた。そのため、筆記具の状態を判別してから、ゆるやかな変化で提示を行う手法を採用した。今回はLEDの明るさではなく、多色LEDを用いての複数の色や点灯・消灯でユーザの筆記具の状態を表現してみることにした。また、新しい機能として、筆記を行っていると判別した時間を記録する機能を実装し、筆記を行った時間を提示部においてゲージ状に表現した。提示部はArduinoにブレッドボードを繋いで拡張し、その上に16チャンネルのアナログ・マルチプレクサを繋いで実装した。制作した提示部を図7.1に示す。



(a) 全体



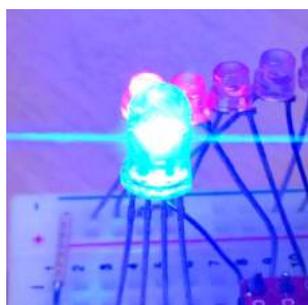
(b) 拡大

図 7.1: 改良した提示部

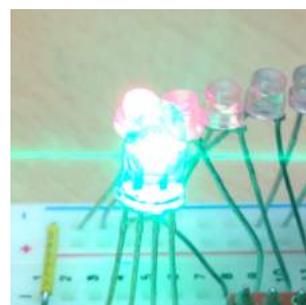
³<https://www.sparkfun.com/products/9056>

7.2 色による情報提示

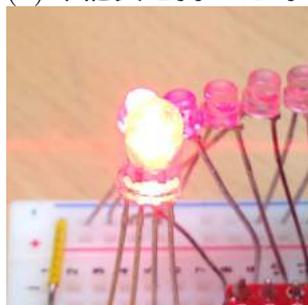
まずユーザの筆記具の状態に応じてどのように色を変化させるかについて述べる。ユーザが筆記具を手を持った場合、つまり置いている状態から持ち上げるという動作が起こった場合、LEDを青色に点灯する。ユーザが書いている動作を行った場合、LEDは緑色に変化する。手を止めたり、筆記具を振る等の筆記以外の動作を行ったりした場合は、LEDは赤色に変化する。そして、ユーザが筆記具を置くと、LEDは消灯する。以上のように、筆記具の状態パターンを色別に表現するように変化させた。まとめたものを図7.2に示す。



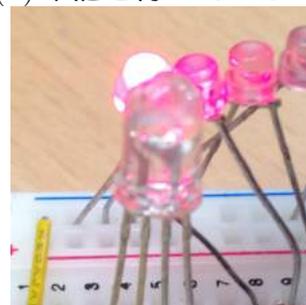
(a) 筆記具を持った時：青



(b) 筆記を行っている時：緑



(c) 手を止めた・筆記具を振った時：赤



(d) 筆記具を置いた時：消灯

図 7.2: 状態パターンごとの LED の色の割り当て

7.3 筆記時間ゲージ機能

新しい機能としては、筆記を行っているとは判別した時間を記録する機能を実装した。ここで記録した時間は、状態提示を行う LED とは別の 16 個の単色 LED を用いて、提示部上においてゲージ状に表現した。つまり、一定時間筆記を行うと LED が一つずつ点灯していき、筆記時間が多いほど多くの LED が点灯する仕組みになっている。これにより、ユーザ同士がどのくらい学習したかのおおまかな時間情報を共有することができる。筆記時間ゲージが光る様子を図 7.3 に示す。

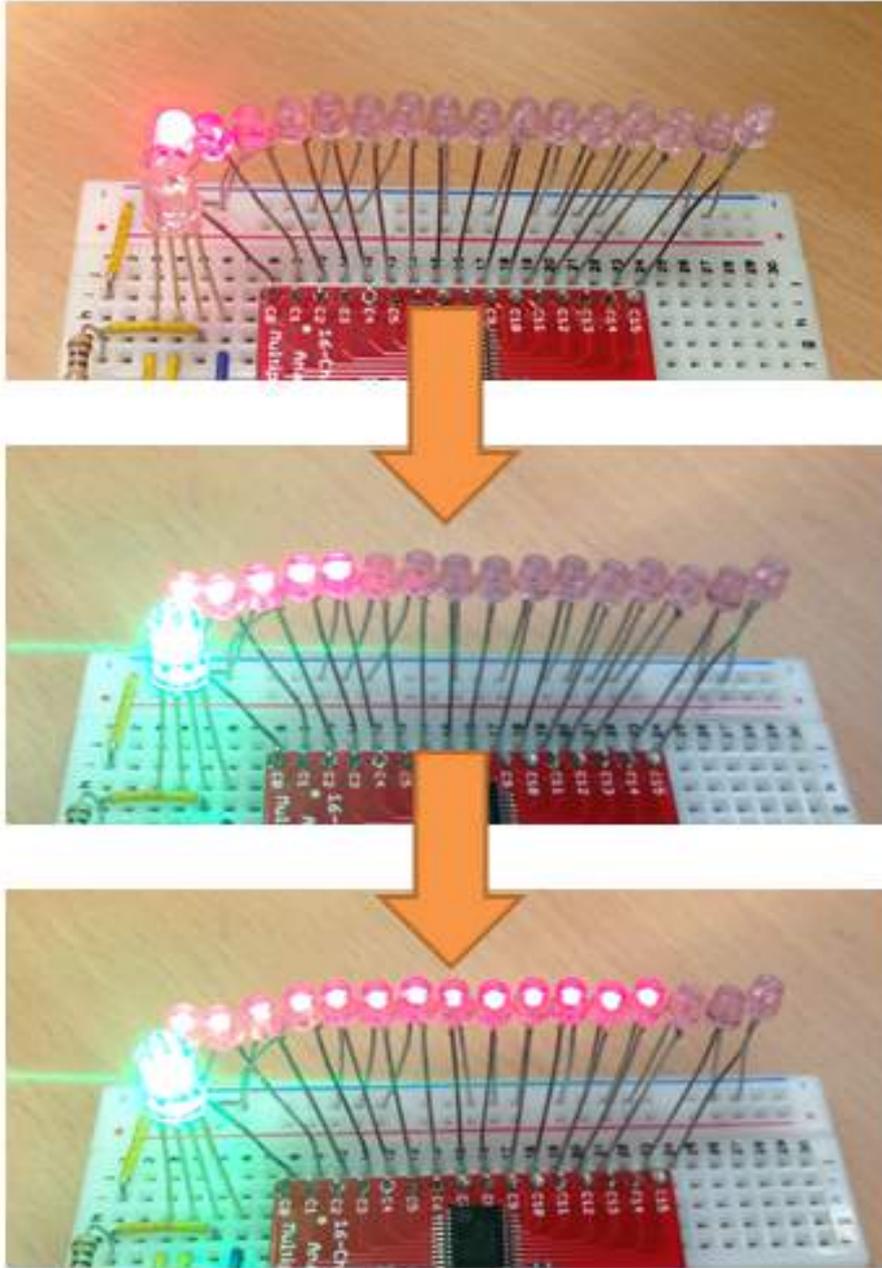


図 7.3: 筆記時間ゲージが光る様子

第8章 評価実験

8.1 実験概要

センサを取り付けた筆記具と7章で改良した提示部を評価したいと考え、評価実験を行った。

今回は新しく提案した提示手法を用いて、ユーザは相手が学習している雰囲気を感じられるか、また、ユーザ同士一緒に学習しているような感覚が得られるかの調査を目的とした。被験者は日本語を母国語をしている情報系の大学生・大学院生4名である。被験者には2人ずつペアになってもらい、2組で実験を行った。遠隔地のユーザ同士の利用を想定しているため、被験者2名にはそれぞれ離れた位置に座ってもらい、お互いの学習内容は見えないようにした。LEDの提示の仕組みについては事前に説明を行い、動作確認を兼ねて実験前にひらがな46文字をなぞってもらった。実験タスクとしては数学の簡単な計算問題と、短めの読解問題を解いてもらった(図8.1)。実験終了後はアンケートに答えてもらった。

テスト

1. 次の方程式を解いてください。

(1) $(x+7)(x-3) = -9$

(2) $(x-8)(x+7) = 6x-48$

2. 次の文章題に答えてください。

1個120円のリンゴと、1個80円のミカンがあります。代金が1280円になるようにリンゴとミカンを買う予定でしたが、リンゴとミカンの個数を逆にして買ったので、代金は1520円になりました。リンゴとミカンをそれぞれ何個買う予定でしたか。

図 8.1: 利用した問題

実際の実験の様子を図 8.2 に示す。被験者 A が筆記用具を持つと被験者 B 側の LED が青く光り、筆記を行うと緑色になる。手を止めると赤色に代わり、筆記具を置くと光は消えるといったように、被験者 A の筆記具の状況に応じて、被験者 B 側へ光の提示が行われる。被験者 B の筆記具の動作から被験者 A 側への光の提示についても同様である。



図 8.2: 実験の様子

8.2 実験結果

実験後に行ったアンケートでは、「相手が筆記を行っている雰囲気を感じられたか」、「相手が学習を行っている雰囲気を感じられたか」、「相手と一緒に学習している感覚を感じられたか」の3つの問いに対し、「a. 感じられた」、「b. やや感じられた」、「c. あまり感じられなかった」、「d. 感じられなかった」の4段階から選択してもらった。問1の「相手が筆記を行っている雰囲気を感じられたか」については、「a. 感じられた」と回答した人が2名、「b. やや感じられた」と回答した人が2名であった。問2の「相手が学習を行っている雰囲気を感じられたか」については、「a. 感じられた」と回答した人はおらず、「b. やや感じられた」と回答した人が3名、「c. あまり感じられなかった」と回答した人が1名であった。問3の「相手と一緒に学習している感覚を感じられたか」については、「a. 感じられた」と回答した人が1名、「b. やや感じられた」と回答した人が2名、「c. あまり感じられなかった」と回答した人が1名という結果であった。以上の結果をまとめたものを図 8.3 に示す。

問 1. 相手が筆記を行っている雰囲気を感じられたか

a. 感じられた	2
b. やや感じられた	2
c. あまり感じられなかった	0
d. 感じられなかった	0

問 2. 相手が学習を行っている雰囲気を感じられたか

a. 感じられた	0
b. やや感じられた	3
c. あまり感じられなかった	1
d. 感じられなかった	0

問 3. 相手と共に学習を行っている感覚を感じられたか

a. 感じられた	1
b. やや感じられた	2
c. あまり感じられなかった	1
d. 感じられなかった	0

図 8.3: アンケート結果

また、提示方法全体に関して、気がついた点や気になった点を自由記述形式でコメントしてもらった。頂いたコメントは次の通りである。

提示方法に関するコメント

- 一緒に学習している雰囲気を感じられた。
- 色で相手の状況を表すのはわかりやすかった。
- 集中したい時にはやや邪魔を感じるかもしれない。
- LEDを見たのは主に手を動かしていない時だったので、筆記中でも伝わるもっとさりげない方法だと良いと思う。

筆記時間のゲージに関するコメント

- ゲージで競争心を煽られた。意欲が向上しそう。
- 筆記時間のゲージは、自分のものとの関係がわかる方が良いと思う。
- 相手の進捗と自分の進捗を比較できると良いと思う。

8.3 実験の考察

アンケートの結果から、「相手が筆記を行っている雰囲気を感じられたか」については全員からポジティブな回答が得られた。また、「相手が学習を行っている雰囲気を感じられたか」、「相手と一緒に学習している感覚を感じられたか」に関してもやや感じられたという回答が多いという結果であった。このアンケート結果から、LEDによる情報提示は学習している雰囲気を共有するのに比較的有効であると考えられる。しかし、提示手法自体は好意的に受け入れられていたが、邪魔を感じるかもしれない、もっとさりげない方法が良いというコメントがあったことから、学習の妨げにならないような検討が必要である。また、コメントには無かったが、LEDが光る様子を見て「眩しい」と言った被験者がいたため、もう少し優しい光にて提示を行った方が良いかもしれない。学習時間ゲージに対するコメントからは、お互いの学習進捗状況の共有は、競争心を生んだり、学習意欲を向上させたりする可能性があると考えられる。

第9章 結論

本研究では紙と筆記具を用いた従来の学習方法において、ユーザの学習状況を遠隔地にいる別のユーザと共有できる手法を提案した。学習状況を判別するために、筆記具が動いているといった動作や置かれているといった状態に着目し、筆記具の頭部に加速度センサを取り付け、そのセンサから得た値から筆記具の状態の判別を行った。また、情報共有方法としてはLEDの光による提示手法を用いた。提示手法に関しては2パターンのLEDによる提示方法を提案し、評価実験を行った後、提示部の改良を行った。実験において、LEDの光による提示は比較的ポジティブな回答が得られた。今後の課題としては、より学習の妨げになりにくいような提示の検討を行いたい。システム以外の面では、親しい友人と学習状況を共有することで、ユーザがどういった印象を受けるのか意識面に関することの調査も行いたいと考えている。

謝辞

研究を進めていくにあたり、指導教員である高橋伸准教授には大変お世話になりました。丁寧なご指導、助言を頂き、ここまで研究活動を進めることができました。深く御礼申し上げます。田中二郎教授、三末和男准教授、志築文太郎准教授、嵯峨智准教授、Simona Vasilache 助教には、ゼミを通して大変貴重なご意見、アドバイスをいただきました。この場をお借りして深く御礼申し上げます。インタラクティブプログラミング研究室の皆様、特にユビキタスチームの皆様にはゼミで数多くのご意見やご指摘を頂いただけでなく、研究生活を送る上でのサポートもして頂き、本当に感謝しております。また、教育に関連する研究ということもあり、教師を志している友人、実際に教壇に立っている友人にもアドバイスを頂きました。ありがとうございました。そして最後に、大学生活を送る中、経済面や精神面にわたって支えてくれた家族や、大学生活を共に過ごし様々な面でお世話になった全ての友人に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] NTT 技術ジャーナル. 2004 Vol.16 No.9. <http://www.ntt.co.jp/journal/0409/>
- [2] みまもりホットライン i-pot. <http://www.mimamori.net/>
- [3] Masaki Shuzo, Makoto Shimura, Jean-Jacques Delaunay, Ichiro Yamada, :
“ SHOJI: A Communication Terminal for Sending and Receiving Ambient In-
formation, ”2009 ASME International Design Engineering Technical Confer-
ences and Computers and Information in Engineering Conference, pp.21-38.
- [4] Hyemin Chung, Chia-Hsun Jackie Lee, Ted Selker : Lover’s Cups: Drinking
Interfaces as New Communication Channels. CHI 2006, pp.375-380.
- [5] Hitomi Tsujita, Koji Tsukada, Itiro Sii: SyncDecor: Communication Appli-
ances for Couples Separated by Distance, UBICOMM 2008, pp.279-286.
- [6] Catherine Grevet, Anthony Tang, Elizabeth Mynatt : Eating Alone, To-
gether: New Forms of Commensality. In Proceedings of GROUP 2012, pp.103-
106.
- [7] 栗原崇, 末永輝光, 熊岸正夫, 山下淳, 葛岡英明: 遠隔共同学習を支援する学
習机 AgoraDesk の開発. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集,
pp.181-184.
- [8] Khaled Bachour, Hamed S. Alavi, Frédéric Kaplan, Pierre Dillenbourg : Low-
Resolution Ambient Awareness Tools for Educational Support. CHI 2010
Workshop.
- [9] 吉原さくら, 塚田浩二, 安村通晃: Enlight-Pen:自律学習継続支援システムの
提案, 情報処理学会インタラクシオン 2003, 対話発表.
- [10] 江木啓訓, 尾澤重知: 学習者センシングシステムのための筆記行為の検知手
法, 情報処理学会インタラクシオン 2012, pp.275-280.