

カード認識を用いた双方向授業システムの性能評価

山田圭祐*1・増田和朗*1・鎌田洋*1
Email: b1100954@planet.kanazawa-it.ac.jp

*1: 金沢工業大学 大学院工学研究科 システム設計工学専攻

◎Key Words 双方向授業, カード認識, 性能評価

1. はじめに

教員一人に対して、多数の学生に授業を行うには、一斉授業が効率的である。一斉授業とは、一人の教員が多数の学生に、同じ内容を教えることである。

しかし、教員は計画的に授業を進めていかなければならず、全体の学生の授業に対する理解度を把握する必要がある。そのため、学生個人が授業についていけず、授業態度が受動的になる可能性がある。

多数の学生の状態を把握するには、挙手による質問やコメントを求めるやり方が最も一般的である。しかし、一般の大学の通常のクラスでは、発言するのは一部の積極的な学生にとどまるのが実態である。

これに代わる方式として、電気的ネットワークとボタン操作ができる端末を用いる試みが様々な形で実施されてきた。

教員の問いかけに対する学生の回答用 IT 端末としては、専用の超小型端末⁽²⁾⁽³⁾、学生の携帯電話⁽⁴⁾、学生用 PC 端末⁽⁵⁾が用いられている。専用の超小型端末⁽²⁾⁽³⁾は学生の作業スペースを制限しない長所がある一方で、紛失のリスクのため管理コストが生じる。学生の携帯電話⁽⁴⁾を用いるシステムでは、該当する携帯電話を所有しない学生は、携帯電話を購入する必要がある。学生用 PC 端末⁽⁵⁾を用いるシステムは、教室全体を IT 化する投資が必要である。

そこで、本システムは、学生に複数の色付きカードを配布しておき、教員の質問に対して回答に対応する色のカードを学生に挙げさせる方法⁽⁶⁾をもとに、学生が挙げた回答に対応するカードを自動集計する PC と Web カメラからなる簡便なシステムである。図 1 にシステム構成を示す。

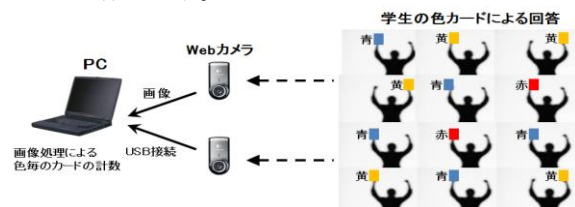


図1 システム構成

このシステムによれば、従来システムに比べて、導入コストが低く、維持管理しやすく、かつ使用方法が簡便である利点がある。また、挙手による回答より、カードの色で回答した方が、色の種類により回答の幅が増える利点がある。

したがって、本システムの双方向授業システムを用いて、学生自らが積極的に授業に取り組めるようにする。これにより、教員と学生のコミュニケーションを

図ることができ、双方向授業が実現する。

しかし、先行研究⁽¹⁾において、学生の挙げた全てのカードを認識できておらず、その原因が明確にされていなかった。また、学生が実際にカードを挙げている画像を研究に扱っていたため、本研究では、最初に教室内にカードのみで本システムの性能評価を行う。これは、カードの認識率の変動が人以外によって起きたことであるか評価するためである。そして、認識できなかったカードの原因を明確にし、実際の授業で使用できる最適な状況を明らかにする。

2. 本システムの構成

2.1 画像入力システム

教室内で挙げられたカードを漏れなく画像として捉えるために、2台の Web カメラを使用し、教室内で挙げられたカードを広く捉えるようにした。また、前後の席の学生の挙げたカードが画像上で重なるのを防ぐために、三脚の上に2台の Web カメラを設置し、高い位置から学生がカードを上げている風景を撮影するようにした。

2.2 カード仕様

使用したカードは黒枠のマーカを付与したカードである。図 2 に黒枠のマーカを付与したカード、図 3 に黒枠のマーカを付与したカードのレイアウトを示す。

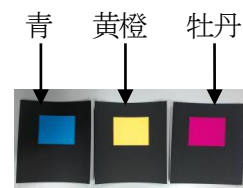


図2 黒枠マーカを付与したカード

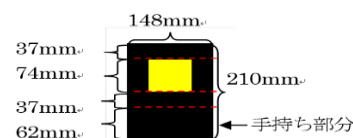


図3 カードのレイアウト

図3のカードは、A5サイズの黒上質紙に青・黄橙・牡丹の正方形の色部分と、それを囲む黒枠部分と、余白を手持ち部分としたカードである。黒枠のマーカを付与した理由は、物体の外輪郭を囲むようにマーカを張り付けると物体と背景を分離でき、物体の外輪郭を正しく抽出しやすいからである。

2.3 画像処理の内容

本研究では、先行研究で、前処理に用いた設定¹⁾と同様の設定にした。以下に設定の流れと、HSV 範囲の表 1 を示す。また、カードの反射を考慮して、カードの明度が高い(150 以上)場合、彩度を黄橙は 50 以上、青と牡丹は 100 以上まで許容する。

- (1) 入力画像に対してグレースケール化を行う。
- (2) 2 値化処理を行う。固定閾値を 75 とする。
- (3) 2 値化した画像から色部分の面積を抽出する。
- (4) 抽出した面積から、四角形判定を行う。
- (5) 四角形判定の後に、色判定を行う。

表 1 HSV 範囲

	青	黄橙	牡丹
色相	190~230	20~60	310~350
彩度	128~255 (100~255)	128~255 (50~255)	128~255 (100~255)
明度	75~255 (150~255)	75~255 (150~255)	75~255 (150~255)

3. 本システムの性能評価

3.1 カード色別の性能評価

本システムを本学の教室(幅:14.7m 奥行き:20.7m)で性能評価を行った。性能評価の条件としては、カードを各机に 1 枚ずつ置いた。そのとき、カードを土台に固定させることで、倒れないようにした。また、教室の照明環境は、教壇側の照明を消した場合、教壇側と前方の照明を消した場合で、カードの認識率の変化を比較した。ここでは、教壇側と前方の照明を消した場合の画像を以下に図 4 で示す。

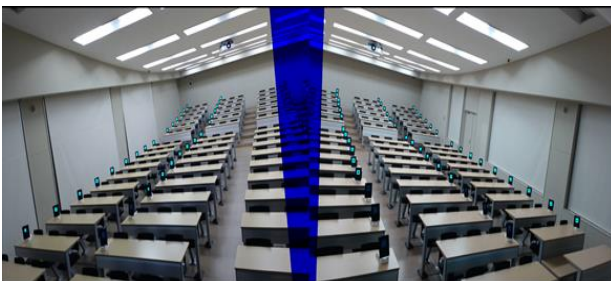


図 4 教壇側と前方の照明消したカード認識結果

図 4 は、青のカードを 75 枚並べたものである。授業では、最前列の机は使用しないため、2 列目からカードを配置することにした。青のカードを認識すると、カードの枠に青色の枠を描画するシステムとなっている。そのため、カードを認識できているか否かを、瞬時に判断できる。図 4 の照明環境では、前方のカードを認識できていない。この性能評価を、黄橙と牡丹のカードを用いて同様の条件で行った。その結果を以下の表 2 に示す。また、明るさによって認識率の変化が起こるか検証するため、教壇側の照明のみ消した場合を「明るい入力画像」、教壇側と前方の照明を消した場合を「暗い入力画像」とする。

表 2 性能評価のカード認識率

	青	黄橙	牡丹
明るい入力画像	100% (75/75)	99% (74/75)	100% (75/75)
暗い入力画像	89% (67/75)	99% (74/75)	71% (53/75)

表 2 のカード認識率の結果から、明るい入力画像では、99%(224/225)。しかし、暗い入力画像の結果からは、青と牡丹のカードの認識率が著しく下がり、認識率は 86%(194/225)であった。また、過剰認識はなかった。これらの認識できなかった原因は、2.3 の画像処理の内容で述べた処理過程の中で起きたことである。そこで、実際に本システムの 2 値化、四角形判定、色判定の過程を表示させ、どの処理過程で認識失敗(未認識)したのかを計数した。また、明るい入力画像は認識率が低いいため、本研究では暗い入力画像の認識率の低下の原因を明確にする。

そして、上述した図 4 のカード色別ごとの認識結果を以下の表 3 に示す。それぞれの表は暗い入力画像の場合の認識結果である。認識できた場所を 0 とし、認識できなかった場所を処理の段階分けにし、1(2 値化処理で失敗)、2(四角形判定で失敗)、3(色判定で失敗)とした。また、認識に失敗した処理過程についてまとめたものを表 4 として以下に示す。また、2 値化処理の固定閾値で誤認識したカードの写真(右上)と、認識成功したカードの写真(左上)と、四角形判定で認識失敗したカードの写真(下)をそれぞれ以下に示す。

表 3 カードの認識結果

認識結果	1列			2列			3列			4列			5列		
	青	黄橙	牡丹	青	黄橙	牡丹	青	黄橙	牡丹	青	黄橙	牡丹	青	黄橙	牡丹
1列															
2列	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
3列	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
4列	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
5列	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
6列	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15列	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16列	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4 各処理の認識できなかったカード数

2 値化	四角形判定	色判定
90% (28/31)	10% (3/31)	0% (0/31)

表 3 の結果から、青カードは暗い入力画像の場合において、両端の列は全て認識できている。しかし、2~4 列では、前方のカードを認識できていない。牡丹カードも同様に、前方のカードを認識できていない。一方で、黄橙カードは、前方のカードを全て認識できている。しかし、1 列目の最後方のカードを認識できておら

ず、牡丹カードも後方のカードを認識できていない。そして、青と牡丹カードに関しては、前方のカードが2値化処理の過程で認識できていない。また、表4の結果から、認識に失敗したカードの総数は31枚であった。その中で、2値化処理でのカード認識失敗が大半を占めた。すなわち、これは認識失敗したカードの大半が、75未満の明度であることを示している。そして、残りの3枚については、四角形判定の処理でカード認識に失敗している。ここでは、まず四角形判定において失敗した原因を述べる。

そのため、図4のカードの置いてある各机から、WEBカメラまでの距離を計測した。その結果を以下の表5に示す。

表5 各机からWEBカメラまでの距離(m)

距離(m)	1列	2列	3列	4列	5列
1列					
2列	6.49	4.24	2.89	4.18	6.17
3列	7.04	4.97	3.76	4.82	6.59
4列	8.53	5.7	4.7	5.62	7.27
5列	8.14	6.49	5.6	6.38	7.92
6列	8.73	7.26	6.5	7.14	8.55
7列	9.46	8.1	7.34	7.98	9.31
8列	10.15	8.9	8.25	8.88	9.99
9列	10.98	9.79	9.14	9.7	10.77
10列	11.68	10.67	10.12	10.52	11.52
11列	13.42	12.52	12.08	12.44	13.25
12列	14.21	13.41	12.91	13.31	14.05
13列	15.03	14.21	13.82	14.18	14.87
14列	15.88	15.12	14.72	15.06	15.67
15列	16.74	15.99	15.65	15.92	16.5
16列	17.54	16.9	16.51	16.79	17.33

表5から、WEBカメラから最も遠い距離は1列目の最後方であることが判明した。すると、四角形判定で黄橙カードの認識できなかった場所(表3の左下の写真)は、WEBカメラから最も遠い距離の場所にある。しかし、青と牡丹カードはそれぞれ、同じ場所で認識に成功している。また、表3から、牡丹カードが10列目と最後方で四角形判定において認識失敗している。そのため、距離によって認識に失敗しているとは限らない。表3の四角形判定に失敗したカードの写真の共通点として、いずれのカードもWEBカメラの方向を向いていない。これは、カードを設置する際に、列に沿ってカードを設置していた場所もあるため、WEBカメラの方向を向いていないカードも存在する。

したがって、これらのカードを認識できない原因は、距離ではなく、WEBカメラへのカードの向きであると考えられる。

次に、表4の結果から、2値化の処理で認識に失敗しているカードが大半であることから、カードの認識低下の主な原因は、2値化処理によるものであると考えられる。そのため、図4のカードの置いてある机から、それぞれのカード色別ごとの明度を計測した。計測方法は、増田が作成したシステム¹⁾を使用し、WEBカメラから抽出したカードの明度である。この結果を表6で、以下に示す。

表6 暗い入力画像のカードの明度

明度	1列		2列		3列		4列		5列						
	青	牡丹	青	牡丹	青	牡丹	青	牡丹	青	牡丹					
1列															
2列	77	119	37	68	106	29	52	105	43	62	115	40	100	120	61
3列	92	130	40	69	117	28	54	110	48	63	111	47	103	149	65
4列	91	147	45	76	112	28	60	129	48	58	150	64	119	148	78
5列	129	172	52	109	142	40	111	180	56	112	186	68	150	183	96
6列	136	178	62	139	176	57	149	185	111	142	199	103	155	175	110
7列	161	205	82	154	187	92	142	187	103	150	206	108	151	191	118
8列	172	215	64	171	205	97	168	187	103	173	230	122	184	230	161
9列	183	235	110	173	218	115	175	210	131	180	228	151	174	219	153
10列	196	228	127	182	222	116	199	210	127	192	236	151	186	249	161
11列	198	229	124	167	232	117	172	224	134	178	248	150	179	235	160
12列	205	227	130	192	232	125	158	215	136	205	251	160	187	249	160
13列	199	225	122	186	227	122	187	208	139	183	248	154	161	232	146
14列	182	206	121	183	210	118	191	207	124	187	230	156	159	224	140
15列	179	197	109	194	227	139	187	215	142	190	219	131	166	226	143
16列	161	178	105	202	227	127	177	216	130	175	215	135	150	199	118

表6の結果から、青と牡丹カードの認識できない前方の場所の明度は75未満である。すなわち、前方のカードが認識できない理由は、2値化処理を行う段階で、固定閾値を75としているため、75未満の明度では、色部分を認識しない。したがって、明度が75未満のカードは、2値化処理の段階で認識に失敗している。一方、全ての黄橙カードは、明度が75以上あるため、前方のカードも認識できる。

また、表6では、全てのカードの明度が後方に行くと同様に上昇している。これは、教室の明るさが関係しているのではないかと考えられる。

そのため、次に、各機の位置から照度を計測し、その結果を表7として以下に示す。

表7 暗い入力画像のカード位置の照度(lx)

		横列				
		1列	2列	3列	4列	5列
縦列	最前列					
	2列	253	354	326	291	287
	3列	346	464	425	415	375
	4列	442	614	539	492	432
	5列	493	745	636	584	542
	6列	592	857	743	647	632
	7列	647	943	813	732	686
	8列	689	1023	842	776	699
	9列	710	1072	892	799	758
	10列	687	1014	869	795	766
	11列	670	983	826	791	738
	12列	631	936	820	791	702
	13列	553	837	781	755	615
	14列	501	763	734	740	558
	15列	453	703	709	713	503
	最後方	407	614	640	663	452

表7の結果から、教室が暗い入力画像の場合では、照度に大きな変動があることが明らかになった。表7と表6の結果を比較すると、暗い入力画像の場合の前方の席の照度が低いことがわかり、認識率の低下に繋がっていると考えられる。そして、照度が高くなると、カードの明度も上がっている。したがって、教室内全体の明度と照度は連動しており、教室が暗い入力画像の場合では、明度が下がり、前方のカードを認識できない。

しかし、表6と表7の結果をみると、前方の縦列の1列目と2列目の照度と明度を比較したところ、明度は1列目で77、照度は253となっている。次に、2列目では、明度は68、照度は354となっている。縦列2列目の場所の照度は、縦列1列目と比べると、100以上も高い。ところが、明度に関しては、縦列1列目の方が、2列目に比べて高い。これらのことから、上述したように、教室全体での明度と照度は連動しているが、一部の明度と照度には関係性がみられない。また、表3の2値化処理で認識失敗したところの写真を見ると、WEBカメラへのカードの向きが少し異なる。2値化処理で認識成功した写真は、WEBカメラに向いている画像であるが、失敗した写真は、机の縦列に沿って真っ直ぐである。

したがって、照度が高いにも関わらず、明度が低い原因は、四角形判定と同様に、カードの向きであると考えられる。

3.2 性能評価から本システムの改善

本研究で得た結果から、2値化の固定閾値と明度を75から、25に変更する。全てのカードの最も低い明度

が29であったため、変動する場合も含めて25とする。この条件に変更し、図4と同様の暗い入力画像を用いた認識結果を以下の表8に示す。

表8 固定閾値と明度25に変更した後のカード認識結果

	青	黄橙	牡丹
暗い入力画像	100% (75/75)	99% (74/75)	97% (73/75)
過剰認識	1	0	0

表8の結果から、青と牡丹カードの認識率の向上がみられた。青カードでは、過剰認識により、1枚のみカードでないところを認識した結果となった。一方、牡丹カードは過剰認識がなく、暗い入力画像の場合において非常に良い結果となった。

しかし、これはカードのみの画像を用いた結果であることから、実際に学生のいる授業で本システムを使用すると、過剰認識が増加する恐れがある。そこで、実際に授業での風景画像からカード認識を行った結果を以下に表9として示す。授業で使用した教室と、照明条件は図4と同様である。挙げられたカードの総数は105枚であった。また、青・黄橙・牡丹カードの合計の過剰認識と認識失敗(未認識)を縦軸、固定閾値・明度を横軸とし、散布図にしたものを以下に図5で示す。そして、カードを用いた授業風景の様子を図6で示す。

表9 学生のいる授業にて使用したカード認識結果

明度・固定閾値	認識カード数				未認識カード数				過剰認識数				未認識カード数・過剰認識数 合計
	青	黄橙	牡丹	合計	青	黄橙	牡丹	合計	青	黄橙	牡丹	合計	
25	47	12	35	94	4	2	5	11	4	0	1	5	16
30	47	12	33	92	4	2	7	13	5	0	1	6	19
35	47	12	34	93	4	2	6	12	5	0	1	6	18
40	48	12	34	94	3	2	6	11	3	0	1	4	15
45	47	13	33	93	4	1	7	12	5	0	1	6	18
50	48	13	32	93	3	1	8	12	4	0	1	5	17
55	48	12	32	92	3	2	8	13	5	0	1	6	19
60	48	12	32	92	3	2	8	13	4	0	0	4	17
65	47	13	30	90	4	1	10	15	1	0	0	1	16
70	46	13	32	91	5	1	8	14	1	0	0	1	15
75	45	12	31	88	6	2	9	17	2	0	1	3	20

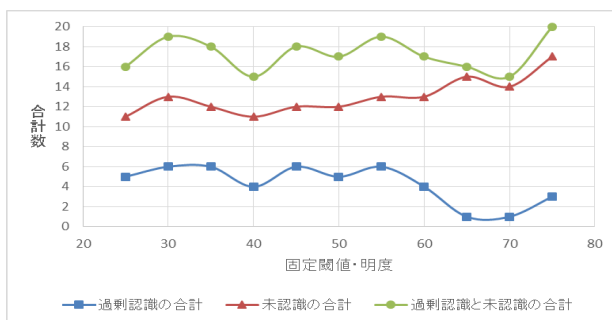


図5 過剰認識と未認識との固定閾値・明度

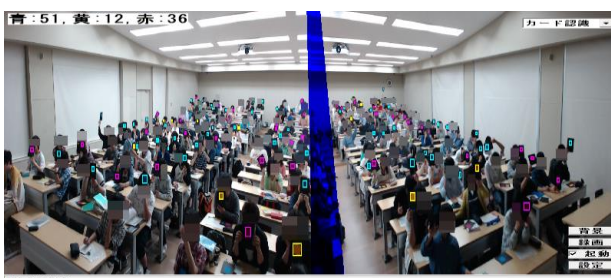


図6 授業風景

表9の結果をみると、固定閾値・明度が低いほど、未認識は減少している。しかしそれに伴って、過剰認識も上昇している。図5をみると、固定閾値・明度60以下では、過剰認識が多い。そのため、過剰認識を防ぐためには固定閾値・明度を65以上とする必要がある。

ところが、固定閾値・明度が75では過剰認識が3枚あり、カードの認識率も低い。この理由については、明度が75に上がると、2値化処理の時点で白と黒の境界が狭まる。これにより、学生の服の一部が明度75以上あり、カードの色部分として認識され、服の周りが黒色となる。そして、白と黒の境界が狭まったことで、偶然にも四角形として認識され、色も青色と認識されたためである。

また、図5から、過剰認識数と未認識数を合計すると、固定閾値・明度がそれぞれ、40と70が最も低い。しかし、固定閾値・明度が70では、未認識数が多く、そのために合計数が上昇している。一方、固定閾値・明度が40では、過剰認識・未認識数、共に少ない。

4. おわりに

教室が暗い場合、本システムを用いる際は、明度と固定閾値を75未満にすることが望ましいと考えられる。また、25まで下げてしまうと、過剰認識が増加するが、未認識が減少する。

これらのことから、過剰認識を減少させたいのであれば、明度と固定閾値を上げ、未認識を減少させたいのであれば、明度と固定閾値を下げるのが最適である。また、図5の結果から、教室が暗い場合で本システムを使用するとき、固定閾値・明度40が最適であると考えられる。もっとも、プロジェクターを使用せず、黒板に板書する授業であるならば、教室の照明を全て点灯させ、本システムを使用することが望ましい。

今回の実験は1回のみであるため、今後は多くの実験を行い、暗い教室での本システムの最適な設定を求めていきたい。

参考文献

- (1) 増田和朗, 鎌田洋: “双方向授業のための画像処理システム”, 平成26年度 金沢工業大学 大学院工学研究科 システム工学設計専攻修士論文.
- (2) TERADA.LENON: “LENON システム”, <http://www.t-lenon.com/whatlenon.html> (2015.6.15 取得).
- (3) IC ブレインズ: “Socrates システム”, <http://www.icbrains.com/soctop.html> (2015.6.15 取得).
- (4) シー・エス・イー: “mm-card システム”, <https://www.cseltd.co.jp/products/mmc-card/> (2015.6.15 取得).
- (5) コンピュータウイング: “Wingnet システム”, <http://www.cwg.co.jp> (2015.6.15 取得).
- (6) 末武国弘: “教育工学による大学教授方法の改善”, 神奈川大学工学研究所所報, 第12号, pp.23-38(1989).