

M系列に基づく円筒バーコードを用いた AR和服帯試着システム

奥山 瑞希^{†1,a)} 的場 やすし¹ 椎尾 一郎^{†1,1}

概要: ARシステムで一般的に使用されている光学マーカは、曲面に貼り付けてマーカが曲がった場合、もしくはマーカの一部しか検出できない場合に認識精度が低下する。一方、実世界の構造物、家具、調度品、人体には円筒形の部分が多く存在する。そこで本研究では、円筒面を持つ立体物に取り付けることを目的とした、円筒形のバーコード光学マーカを提案する。このマーカは、円筒の高さ方向にバーを並べたもので、カメラに向いたバーのみが認識可能である。そこで部分数列が一度しか現れないM系列により生成された2進数をバー幅にエンコードした。これにより、識別と円筒回転方向検出が可能となった。また、本マーカを活用したアプリケーションとして、和服帯のAR試着システムを作成した。これは、ユーザが、実物の和服を着用した上から円筒バーコードを構成したベルトを着用し、システムがカメラで取得したそのユーザの画像に、CG画像による和服帯を表示するシステムである。

キーワード: AR, M系列, マーカ, AR試着

A virtual fitting system for obis using cylindrical barcode based on M-sequence

MIZUKI OKUYAMA^{†1,a)} YASUSHI MATOBA¹ ITIRO SHIO^{†1,1}

1. はじめに

実世界の中のものや場所に情報を提示する拡張現実感 (Augmented Reality: AR) の手法では、ARToolKit[2]などの矩形平面に2次元コードを印刷した光学マーカが一般的に使用される。これらの2次元コード光学マーカは、曲面に貼り付けてマーカが曲がった状態、カメラにマーカが著しく傾いて映る場合、もしくはマーカの一部しか検出できない場合には認識精度が低下する。実際の生活空間における物や人を対象にしたARシステム利用では、カメラが回り込んでしまった場合にも3D物体を認識できるように

するために、多数のマーカを物体に取り付ける必要がある。

生活空間には、壁、床、天井、机、本、書類など、平面を持つ物体が多く、平面に貼り付けることを前提とした2次元コード光学マーカはこれらに対して有用である。しかし、生活空間の構造物(柱)、機械部品、家具(脚)、調度品(花瓶、植木鉢)、さらには人の胴、四肢、頭、首など、工業製品や人体には円柱形の部分も多く存在し、世界は円柱でできている*1と言える。そこで本研究では円筒面を持つ立体物に取り付けることを目的とした、円筒形のバーコード光学マーカを提案する。従来の2次元光学マーカに加え、円筒形マーカを採用することで、ARを活用できる場面がさらに広がるであろう。

また、本マーカを活用したアプリケーションとして、和服帯のAR試着システムを作成した。これは、実物の和服を試着した上から、円筒バーコードを構成したベルトを着

^{†1} お茶の水女子大学理学部情報科学科

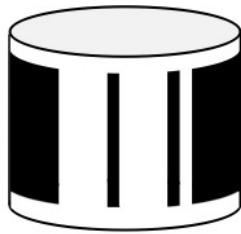
Ochanomizu University, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan

^{†1} 現在、お茶の水女子大学院人間文化創成科学研究科理学専攻情報科学コース

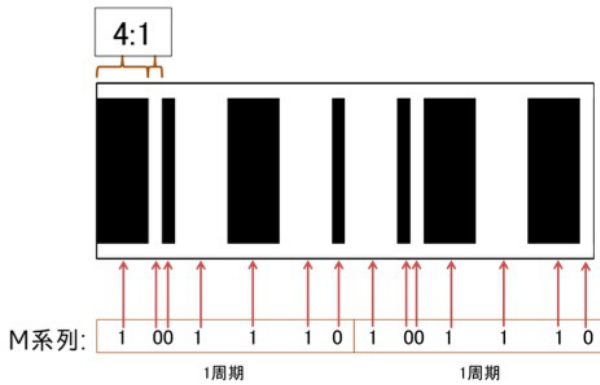
Presently with Ochanomizu University, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan

^{a)} okuyama.mizuki@is.ocha.ac.jp

*1 山中俊治:「世界は円柱でできている」, 山中俊治の「デザインの骨格」, <http://lleedd.com/blog/2011/05/23/>



(a) 円筒形のM系列マーカ



(b) M系列マーカの展開図

図 1 (a) 円筒面に適用した M 系列マーカ,
(b) M 系列マーカの展開図

用したユーザの画像に、CG 画像による和服帯を表示するシステムである。本システムを、複数のユーザに試用してもらい、試着システムとして有用であることを確認した。

2. M 系列マーカ

本研究では、円筒状のバーコード光学マーカを提案する。これは、生活空間や人体部位に多い円柱状の立体物に貼付することで、全周囲から認識できる光学マーカである。提案する円筒型バーコードの例を図 1 に示す。円筒状の側面にバーコードを巻きつけるように配置している。円柱側面へのバーの配置方法には、それぞれのバーを円柱の高さ方向に平行に並べる方法と、円柱の円周方向にリング状に並べる方法が考えられる。前者はカメラに向けた部分しか認識できない制約があるものの、円柱の回転方向も知ることが可能である。そこで本研究では、円筒の高さ方向にバーを並べたマーカを採用した。また、バーコードの一部分の認識で回転方向の検出を可能にするために、バーコードには、部分数列が一度しか現れない M 系列により生成された 2 進数を使用した。本研究で提案する円筒型バーコード光学マーカを、以下“M 系列マーカ”と呼ぶ。

2.1 M 系列

本研究では、マーカのコードに M 系列 (Maximum length sequence, 線形最大周期列または最大長系列) と呼ばれる数列を符号化した。M 系列は以下の式より生成される。 \oplus は排他的論理和を表す。

$$X_n = X_{n-p} \oplus X_{n-q} \quad (p > q > 0) \quad (1)$$

生成された数列は、周期 $2^p - 1$ であり、数列内の連続する各 p ビットは唯一である。例えば $p = 3$ で生成すると周期 7 の数列が生成され、この中の連続する 3 ビットは唯一である。実際には次の 7 個の数からなる数列が繰り返し生成される。

1 0 0 1 1 1 0

ここでは、連続する 3 ビット、例えば部分数列 1 0 0 は 1 周期の中では 1 回のみ出現する。この数列の 1 周期分を円環状に並べると、どこから読み始めても、連続する 3 個の部分数列は他の箇所には出現しない。もしこのような M 系列のビットを、光学的なパターンとして回転体の周囲に配置すれば、連続した p 個以上の数列を光学的に読み取ることで、円周上の場所を特定できる。

2.2 バーコード化

バーコードは、交互に並んだ 2 種類の線幅の白と黒のバーで構成される。太いバー、細いバーに、1 または 0 を割り当てることで 2 進数を表現する。本研究では、太いバー、細いバーにそれぞれ 1, 0 を割り当てて、M 系列の数列をバーコード化することを考えた。

今回試作した AR 試着アプリケーションでは、 $p = 5$ の M 系列数列の 1 周期、すなわち 31 ビットを和服帯サイズの円筒にバーコード化した。しかしこの方法では、バーコードを円筒に配置した場合の接続部で不具合が発生する。奇数番目のビットを黒、偶数番目のビットを白が担当するように割り当てると、奇数個のビット列の場合は最初と最後のビットを担当するバーの色は同じ黒になる。例えば前出の $p = 3$ の M 系列数列の場合、

1 0 0 1 1 1 0

の最初の 1 を黒いバーが担当すると、最後の 0 も黒色になる。これを円環状に配置すると、接続部のビットは、同じ色のバーになり識別が行えない。ただ、AR 試着アプリケーションでは、接続部以外の部分で有効な数列が読み取れたため、AR 画像品質への影響は発生しなかった。

この問題は、M 系列の数列の 2 周期分を使用してバーコード化することで解決できる。例えば、 $p = 3$ の M 系列の場合は

1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0

をバーコードで表現する。1 周期は 14 となり偶数であるため、最初の 1 が黒いバーとすると、最後の 0 は白いバーであり、バーコードを円環状に配置して最初と最後を接続しても区別可能になる。この例を図 1 に示す。ただし、2 周期の数列を使用すると、同じ 3 ビットの部分数列は 2 回出現することになるため、この数列内で唯一でなくなる。しかしながら、これらは白黒の組み合わせが逆になるので区

別することが可能である。例えば上記の数値で100は2回出現している。ここで、数値最初の1を黒い太いバーに割り当てたとすると、1回目出現する100は黒・白・黒の組み合わせになり、一方で2回目に現れる100は白・黒・白の組み合わせになり、識別可能である。

一般的なバーコードでは太い幅と細いバー幅の比を1.5:1, 2:1などとしている。バー幅の差が大きいくほど符号化できる情報量は少なくなるが、認識の堅牢性は向上する。後述するAR試着アプリケーションでは4:1とした。

3. 和服帯 AR 試着システム

M系列マーカの有用性を確認するために、女性の和服帯をAR環境で試着するシステムを作成した。ウエスト部分に和服帯の代わりにM系列マーカを身につけたユーザの画像に、CGによる和服帯を重畳する。和服帯とM系列マーカはいずれも円筒形であるため、M系列マーカの実施例として適していると考えた。

AR試着は多く研究されており [3], [4], [7], また一部では実験的に実用化され、靴, Tシャツ, 眼鏡などを仮想的に試着するシステムが利用されている。今回注目した和服帯の場合は、一般的な衣料品および身につける小物よりも、AR試着を導入する必要性が高い。その理由の一つは、和服の試着は比較的容易であるのに対し、和服帯の装着には時間と技術が必要であり、多数の種類を気軽に試すことが困難なことである。また、帯を結ぶと帯にシワが残る、商品価値が下がってしまう問題もある。そのため一般的な和服店では、和服帯の試着は行わず、体前面にあてがう程度の動作を行い、その結果で買い物客は帯の購入を検討する。実際に帯結びをした状態で試着ができれば、より着用イメージが湧きやすいのは当然のことである。そこで、実物の和服を試着したユーザの映像に、CGによる和服帯を重畳するARシステムを開発すれば、実際に帯結びをした状態の多数の帯の試着を気軽に試せると考えた。

3.1 システム概要

本システムの概要を図2に示す。ユーザは実際に和服を着用し、紐や伊達締めで固定する。その上から、ウエスト(腰)部分にM系列マーカで作ったダミーの和服帯を身につける。ユーザがカメラの前に立つと、大型の液晶ディスプレイ(LCD)にユーザの姿が、姿見に映されたかのように表示される。この時、あらかじめ実物の帯を3Dスキャンしてモデル化されたCGの帯が、サイズ、位置、向きをダミーの帯に合わせて、帯があるべき部分に重畳表示される。

光学マーカ認識プログラムの開発を容易にし、認識精度を向上させる目的で、今回の実装では赤外線カメラ、赤外線投光器、再帰反射素材を使用した。すなわち、ユーザに提示する映像は可視光カメラで撮影し、M系列マーカは赤外線カメラで撮影した画像から認識を行う。また、赤外線

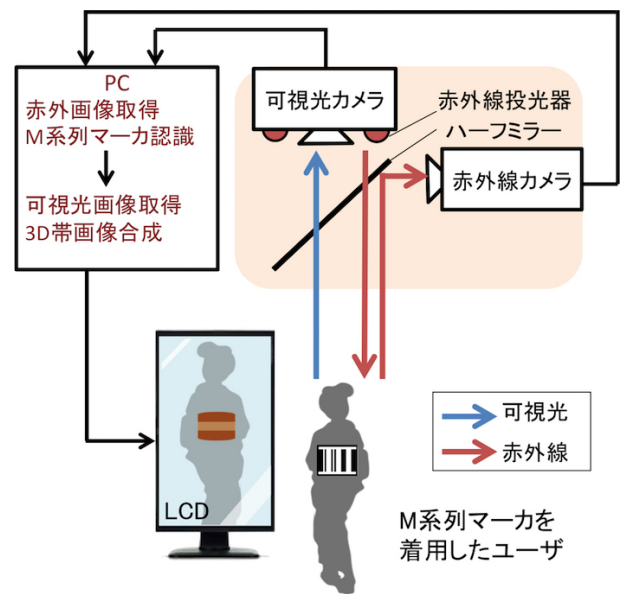


図2 システム概要

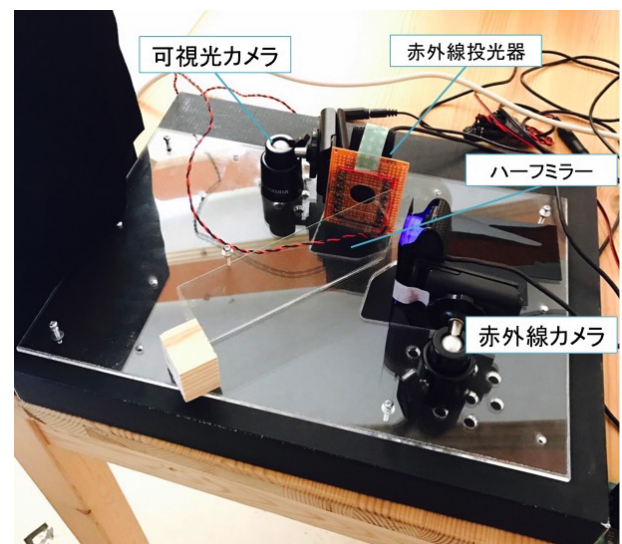


図3 作成したカメラ機材の外観

カメラと可視光カメラの光軸と画角を一致させることで、座標変換に関するプログラミング開発と機器設置におけるキャリブレーションを省略できるようにした。これにより、可視光カメラ画像に重畳表示を行う際、赤外線カメラが検出したM系列マーカの画素上の位置と同じ位置にCG帯を表示すれば、正しく重畳表示することが可能になる。

そこで、2台の同型ウェブカメラ Logicool C920^{*2}を用意し、同一の光学特性の画像を得られるようにした。このうち1台は、内部の赤外線カットフィルタを外し、レンズ部に可視光カットフィルタを貼り付け、赤外線カメラに改造した。

図2に示すように、この2台のカメラを直交して配置し、ハーフミラーを介して光軸を一致させた。図3にこの

^{*2} 光学系が同一のC920とC920rを使用し、改造の容易なC920を赤外線カメラに改造した。

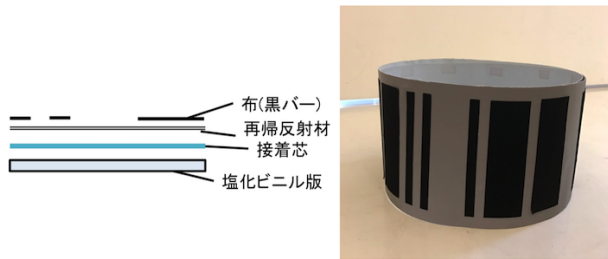


図4 試作した M 系列マーカの構造 (左) と外観 (右)

様子を示す。ハーフミラーの直進方向には、ユーザに提示する高品質の画像取得が必要な可視光カメラと、赤外線光源である赤外線投光器を設置したため、直進方向の透過率を高く設定する必要があった。そこで、ハーフミラーにはスマートフォン向けに販売されている透明なガラス板(厚さ 0.33mm)^{*3}を使用した。一般的な透明フロートガラスの場合 45 度方向の透過率は正面に対して 2~3%減程度であるので ([1] より)、今回の設定でも大半が透過していると考えられる。

AR 試着システムのために開発した M 系列マーカを図 4 に示す。ユーザは、和服を着た上にこのマーカを和服帯のように装着する。ここでは $p=5$ の M 系列数列の 1 周期、すなわち 31 ビットをバーコード化した。太いバーと細いバーの幅の比に関して 2:1, 3:1 などの試作を行ったが、安定して検出できる比であった 4:1 とした。そこでバーコードの太いバーの幅を 4.4cm, 細いバーの幅を 1.1cm とした。この結果、全周囲が 82.5cm の M 系列マーカとなった^{*4}。実際にはこのマーカは試着した和服の上から着用するため、服や伊達締め⁵の厚みにより調整が可能である。後述する実験で実際に装着してもらったところ、70~80cm 程度の胸下サイズのユーザならば圧迫感や緩みを感じることはなかった。試作した M 系列マーカの表地には再帰反射素材を使用した。再帰反射素材で白のバーの幅を表現し、この上に貼った薄いフェルト布で黒のバーの幅を表現した。再帰反射素材のみでは帯の形状が安定しないため、接着芯と塩化ビニル板を裏側に貼り付け補強した。この構造を図 4 の左図に示す。

この M 系列マーカをトルソーに取り付け、本システムの可視光カメラと赤外線カメラで撮影した。この画像を図 5(a)(b) に示す。図 5(a) の可視光カメラ画像には台座の一部が写り込んでいるが、今後カメラ位置を高く設定して改良する予定である。図 5(b) は赤外線カメラ画像である。赤外線投光器と再帰反射素材により、M 系列マーカ部分のみが明瞭に撮影されていることがわかる。

AR 試着システムで AR 表示をするために、実際の帯を文庫結びでトルソーに装着し、これを 3D スキャナ^{*5} で取

^{*3} 強化ガラス保護フィルム, 株式会社ハイスピリット

^{*4} 31bit 全てを並べると 86.9cm になるが、接続部が同色のバーになるため最後のバー (4.4cm) を省略した。

^{*5} Artec 社 Space Spider

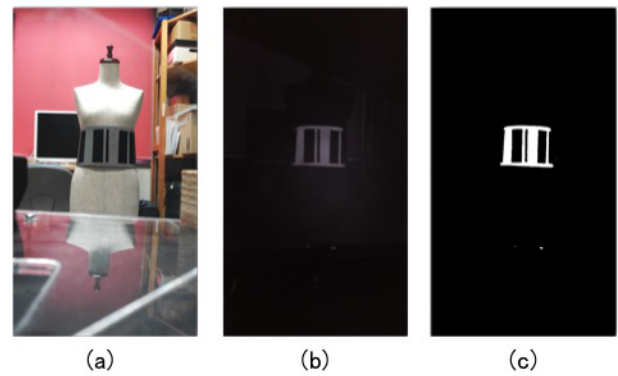


図5 (a) 可視光カメラ画像, (b) 赤外線カメラ画像, (c) 赤外線画像を 2 値化した画像

り込み、3D データを作成した。スキャンした生データはデータ数が大きく、加えてポリゴンが細かいため、リアルタイム処理となる AR 試着システムには向かない。そのため頂点数を元データから 0.02%に減少させた、頂点数 5000 程度のデータを使用した。

3.2 M 系列マーカの認識

CG の帯を M 系列マーカ部分に重畳表示するためには、図 5(b) に示す赤外線カメラ画像から、マーカの大きさ、座標、回転方向 (カメラに向いている面) を取得する必要がある。そこで以下の処理を行った。

最初に、図 5(b) のカメラ画像を OpenCV の 2 値化機能を利用し 2 値画像とした。この結果を図 5(c) に示す。この処理によってマーカ部分がほぼ検出されているが、画像中央下部に見えるような小さな点状ノイズが現れることがあった。一方で、マーカ部分は大きな塊として撮影されている。そこで、配布されているクラス^{*6}を利用してラベリング (連結成分抽出) を行なった。ラベリング結果から面積が 3,000 画素以下の領域を破棄した。この面積値は、ユーザがカメラから 3m 以内に立っていることを想定して設定した。これにより小さな領域として現れるノイズを除去可能である。次に、ユーザが着用した M 系列マーカの縦横比率から外れる領域を破棄した。すなわち、白領域の縦のサイズに対する横のサイズの比率 a を求め、 $0.65 \leq a \leq 1.1$ の範囲から外れる領域を破棄した。これにより、マーカ部分に比べて著しく縦長や横長である領域を、ノイズ領域として除去可能となる。この結果、効率的にノイズを除去してマーカ領域を特定することを可能にした。そこで、マーカ領域を含む矩形の中心座標を求めて、CG の帯を表示するための中心座標とした。またこの矩形サイズから CG の帯を表示するサイズを決定した。以下では、ここで抽出されたマーカ領域に対して処理を行った。

次に M 系列マーカのどの部分が正面に見えているかを取

^{*6} 井村 誠孝:「ラベリングクラス | Imura Laboratory」, <http://imura-lab.org/products/labeling/>

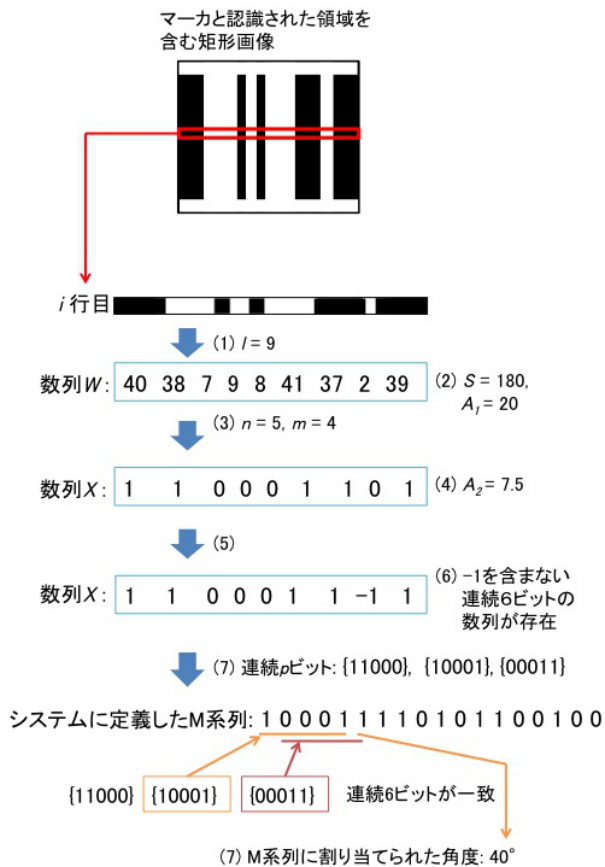


図 6 マーカと認識された領域を含む矩形画像領域を 1 と 0 の数列へ変換する過程. カッコ内の数字は手順 (1)~(7) に対応する.

得するため, M 系列のユニークな部分数列を検出する. この一連の作業例を図 6 に示す. ここでは, 先の手順でマーカと認識された領域を含む矩形画像領域を対象に処理を行う. またバーコードの太い幅と細い幅の比は $r_1:r_2$ であるとする.

(1) マーカが存在する矩形の画像領域の上から i 画素目を左から右へ水平方向に走査し, 黒と白が連続する画素数 (ランレングス) から数列 W を作成する. 各要素の値はいずれも 0 より大きく, 数列の要素数 l は, 黒と白が現れる総回数である.

$$W = [w_{i,0} \ \cdots \ w_{i,l-1}] \quad (2)$$

今回のマーカの設計では, M 系列の周期である p に対して $p+1$ 個以上の領域が, ユーザの帯部分に現れ, カメラに映る傾向にあった. そこで, 幅の個数が合計 $p+1$ 未満ならば, i を 1 増やし, 次の行を読み取り上記の処理を行う. $p+1$ 以上であれば, 次の処理に移る.

(2) 数列の要素の合計値 S とその平均値 A_1 を算出する. 平均値 A_1 は, バーの幅の平均に相当する.

$$S = w_{i,0} + \cdots + w_{i,l-1} \quad (3)$$

$$A_1 = S/l \quad (4)$$

(3) 数列 W の各要素のうち, 平均値 A_1 以上の要素を 1, 未満の要素を 0 として新たに数列 X を作成する. 数列 X の i 行目 j 番目の項は (5) 式で表すことができる. 1 の個数を n 個, 0 の個数を m 個とする ($n+m=l$ を満たす).

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & (w_{i,j} \geq A_1) \\ 0 & (w_{i,j} < A_1) \end{cases} \quad (5)$$

(4) バーコードの太い線と細い線の比は $r_1:r_2$ であり, 太い線と細い線のそれぞれの合計数は数列 X の集計結果 n, m から判明した. そこで, ランレングスの合計値 S を, これらに基づいて加重平均すれば, 比 $r_1:r_2$ の 1 に相当する線幅 A_2 を求めることができる. A_2 は, 細い線の幅の基準値として次の処理で使用される. 求め方は, 以下の通りである.

$$A_2 = S/(n * r_1 + m * r_2) \quad (6)$$

(5) 数列 W の各要素は, ノイズや歪みの影響によってばらつきの生じる値になることが予想される. しかし, 前のステップから線幅の基準を算出したため, 太い線と細い線の幅を求めることができる. すなわち, 1 の線幅は A_2 の r_1 倍, 0 は r_2 倍となる. この結果を利用して, ランレングスの数列 W から, 再度 1, 0 の数列 X を作り直す. ここで, ある閾値内に収まる値はそのまま 1 もしくは 0 として採用する. 閾値に満たないものはエラーとして -1 に更新する. 今回は, 1 の下限を $A_2 * 3.0$, 上限を $A_2 * 5.5$, 0 の下限を $A_2 * 0.4$, 上限を $A_2 * 1.5$ として閾値を設定した.

$$x_j = \begin{cases} 1 & (A_2 * 3.0 \leq w_{i,j} \leq A_2 * 5.5) \\ 0 & (A_2 * 0.4 \leq w_{i,j} < A_2 * 1.5) \\ -1 & (otherwise) \end{cases} \quad (7)$$

(6) 更新された 1, 0, -1 からなる数列 X が, M 系列の一致部分の探索を行う. システムにはあらかじめ p ビットで生成した M 系列を定義しておく. この M 系列の各項には, 対応する円筒形の角度が割り当てられている. -1 が存在することにより, 数列 X の中に連続した $p+1$ 個の 1 もしくは 0 の数列が存在しなければ, i を 1 増やし, 最初のステップに戻る.

(7) 数列 X の連続 p 個ずつマッチングを行い, 一致する数列が 2 個以上連続している, すなわち $p+1$ 個以上の数列が M 系列と一致する場合, 該当する角度を更新し CG の帯を表示する. そうでなければ, i を 1 増やし, 最初のステップに戻る.

作成した M 系列マーカをトルソーに装着し, これを手で回転させた状態でシステムを稼働させた. この状態で重畳



図 7 AR 試着を行う様子

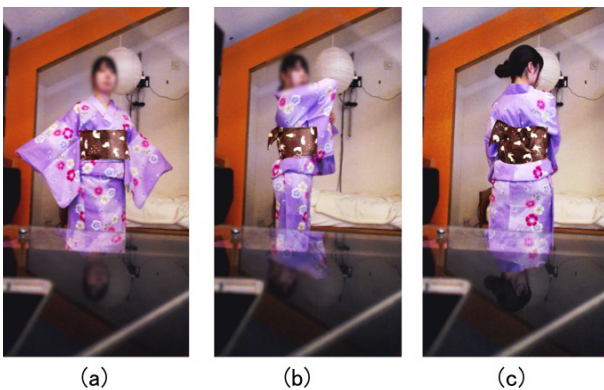


図 8 (a) 正面での表示, (b) 横向き表示, (c) 後ろ姿の表示

表示の毎秒フレーム数 (fps) と、赤外線画像からマーカ認識に失敗するエラー率を計測した。その結果、毎秒フレーム数はおおよそ 13fps で、エラー率は約 2.2%であった。

4. 評価実験

4.1 実験の概要

AR 試着システムの有用性を確認するために、4名 (20-24歳、女性) に試用してもらった。これにより、「帯を結んだときのイメージを持つことができるか否か」および「帯を購入するときの判断材料として用いることができるか」について評価を得た。試用した4名のうち、和服 (道着を除く) を週に1回程度着る人は3名、全く着ない人は1名であった。前者の3名は、自分で和服を購入したことがあり、後者の1名は購入したことがなかった。購入経験のある3名に帯を購入する際に、重視するものについて質問したところ、3名とも「自分の所有する和服の色に帯の色や柄が合うか」であると答えた。

システム試用に先立って図7のようにカメラを床上約80cmの高さに設置し、ディスプレイをその横に設置した。AR表示された帯の様子を図8に示す。ユーザには、最初に本システムの操作方法と機能を約5分間説明した後、和服とM系列マーカを身につけてもらった。約10分間自由

に試着を行ってもらい、感じたことやシステムの構成について自由記述形式の回答をもらった。また、CGの帯データを作成する際に使用した実物の帯を見せ、イメージにどの程度の差があるか詳しくインタビューを行った。使用したCGの帯データは一種類である。

4.2 試用の様子と評価

ユーザ4名全員がディスプレイの前で回ってみる、腕を上げる、下げる動作を繰り返した。ユーザが動いている最中に、M系列マーカが赤外線投光器の投光エリアから外れ、マーカ検出が不可となる状況もあった。今後投光器の指向性やカメラ感度調整に関して改良したい。

4名全員が共通して下記のような好意的な意見を述べた。

- 提案システムは、簡単に疑似試着が可能のため、複数種類の帯が試着可能ならば有用である。
- 提案システムでは、帯結びをした状態で重畳表示が行われるため、CGで表示される帯を実際に着用し帯結びをした場面をイメージしやすい。
- 和服の着用経験が少ない人物は、和服および帯についての知識を持った人物が近くにいない場合であっても、帯の着用イメージを持つことができる。

前述のように、本システムの毎秒フレーム数は13fpsである。しかし、fpsが低いことへの不満は寄せられなかった。和服の試着では、ユーザが激しい動作を行うことはなく、本システムの描画速度でも十分な効果を得られたと考えられる。

ユーザに「帯を結んだイメージを持つことができるか」という質問をしたところ、4名全員が持てると回答した。しかし、正面、横、後ろ向きで同様の質問を行うと、正面 (図8 (a)) を向いた時にイメージを持ちやすい人が1名、後ろを向いた時 (図8 (c)) にイメージを持ちやすい人が3名であることがわかった。正面と回答した人は、「後ろ姿よりも体にぴったり沿っているように見える」、後ろと回答した人は「後ろ姿の帯は立体感がありイメージを持ちやすいが、正面の重畳表示は立体感があまりないため持ちにくい」と理由を述べた。ユーザが、CGの帯が体に沿うことを重視するのか、立体感を重視するのかの観点で回答が分かれた。イメージを持つためにはいずれも重要な要素であり、各要素をどの程度重視するかは個人差が生じるようであった。

つぎに、「帯を購入するかしないかの判断材料としてシステムを用いることができるか」という質問をしたところ、「判断材料に用いることができる」と回答した人は2名、「用いるには改善が必要だ」と回答した人が2名であった。判断材料として使用するために不足している要素として、CGの帯の再現度、表示の仕方の2つの観点が挙げられた。ここで、CG帯の再現度とは、CGの帯の本体の色や柄の表現などの本物の帯との相違を、表示の仕方とは、CGの

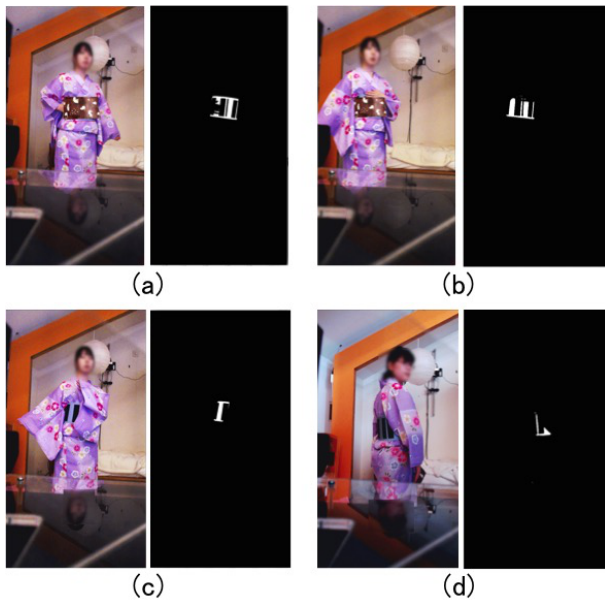


図9 (a)(b)M系列マーカの一部が隠されても機能した例、
(c)(d)袖で隠されたために認識できなかった例。

帯の追従性、CG帯の表示／非表示の切り替えなどを指す。

CGの帯の再現度については、

- 帯の8mm程度の細かな柄がノイズのように見える。
- CGの帯の色は、本物の帯より色が明るく感じられる。

ことが挙げられた。実際、描画速度によって、細かな柄が認識不可になってしまい、ノイズのように見えてしまっていた。今後描画速度の計測と改善、CGの帯を作成する際にポリゴン数やテクスチャの色合いを検討する必要がある。今回の帯の表示では、実験環境にある窓と同じ方向に光源設定を行い、陰影が実物体に近くなるよう設定していた。これによって自然な立体感を感じる反面、マーカの向きによっては表示されるCGの帯の明度に現実以上の差が出てしまった。陰影のコントラストが弱い照明設定に変更する、あるいは、室内の照明にさらに精密に合わせる、さらには光源の色や位置を調整可能にすることで改善されるかと思われる。

つぎに、表示の仕方について質問したところ、以下のことが挙げられた。

- 手(袖)を下ろした状態では、ユーザが横方向を向いたときに重畳表示を行えない。
- 誤判定をしてしまい、正しい角度でCGの帯が表示されない。

図9は、ディスプレイへの表示(可視光カメラからの画像と重畳表示されたCGの帯)と、その時の赤外線カメラ画像の二値化画像をそれぞれ示している。现阶段のM系列読み取り方法では、マーカを手で隠してしまった場合も、ある程度認識することが可能である。図9(a)(b)では、M系列マーカの一部を手で隠した状態でも、正しく認識できていることがわかる。しかし、袖によってM系列マーカ

の大部分が隠れてしまう場合(図9(c))や、袖を下ろした状態でユーザが横を向いた場合、(図9(d))、マーカ認識に失敗した。マーカの大部分が隠れてしまう場合は、そのフレームからマーカ認識することは不可能である。このような場合は、認識できた過去のフレームでの情報から現フレームの位置を推定するなどの手法が必要であろう。

その他、改善点として以下の意見を得た。

- マーカの周囲の長さについて
今回マーカは1種類のみ作成していたため、体型によっては緩いと感じる人もいた。複数のサイズを用意する、もしくはゴムなどの伸縮性を持った素材を使用するなどの改善が可能である。
- 帯の風合いの表現について
硬い帯・柔らかい帯、慣れた帯・慣れていない*7帯の表現ができない。
各帯独特の風合いであるため、CGによる再現は困難である。将来これを実装する場合は、帯選びにはどのような要素が重要なのか調査する必要があるだろう。

5. 関連研究

部分パターンが一度しか出現しないM系列は、物体の位置検出に利用されている。例えばXiaoらのLumitrack[6]では、小型のプロジェクタからM系列バーコードパターンを投影し、これを1次元イメージセンサで読み取ることで双方の位置関係を検出している。これを利用したゲームコントローラー、ペインティングアプリケーションなどが実装された。本研究では、M系列を円筒形光学マーカに適用した。

ARシステムの構築で一般的に利用されるARToolKit[2]ライブラリでは、黒枠の矩形とその内部領域のパターン画像で構成される2次元光学マーカ(ARマーカ)が利用される。ARToolKitは黒枠の矩形からマーカの領域を検出し、パターン画像でマーカを特定する。ARToolKitはARマーカが平面に貼付されていることを前提にマーカ認識を行うが、非平面への適用を目指す研究も行われている。例えば矢田らは、ARマーカの黒枠部分に複数の白点を一列に並べたマーカを作成し、白点の並びからマーカの曲がり具合を推定し、認識する手法を提案した。これにより折り曲げたマーカ[8]、円筒面に貼り付けたマーカ[10]が検出可能であることを示した。小野らは、通常のQRコードにカラー補助線を格子状に重畳したマーカ[9]を提案した。この手法は補助線の着色パターンを利用して、局所的な歪みの補正を行う。このような工夫により、曲面に貼付することで変形した光学マーカの補正が可能である。しかし、立体物を全周囲から認識可能にするためには、複数のマー

*7 一般的に、帯には「着用を繰り返した結果、体によくなじむようになる」という風合いがあり、これを「慣れている/いない」と表現する

カを貼付する必要がある。本研究では円筒状バーコードに M 系列パターンを採用することで、歪みの少ない正面部分の部分的な画像を用いての認識を可能にした。また単一のマーカで全周囲からの認識が可能である。

Usami ら [5] は、様々な角度の L 字型に手で曲げることのできる棒状の RGB のカラーコードを作成し、AR 環境でのグラフィックスオブジェクト操作に適用した。本研究で提案したマーカも、円筒状の立体的な構造をしているが、物体周囲に貼付することを目的とし、物体に隠蔽された部分が欠けても機能するよう工夫した。

本研究ではアプリケーションとして AR 試着システムを試作した。AR 試着システムはすでに多く研究され、一部は実用化もされている。これらには、人の位置検出に Kinect^{*8}などの距離カメラを利用するシステム [7]、光学マーカを利用するシステム [3], [4], などがある。これにより、T シャツ、ジャケット、セータ、スカート、メガネ、靴などの仮想的な試着を実現している。本研究では、容易に試着できる洋装品と違い、試着が困難で AR で実施することに大きな利点がある和服の帯に着目した。

6. まとめと今後の展望

実世界の人工物や人体の部位などに多く存在する円柱形の物体に適した光学マーカとして、M 系列を使用した円筒形光学マーカ、M 系列マーカを提案した。また、M 系列マーカを使用し、和服の帯の仮想的な試着を実現する AR 試着システムを実装した。円筒形の M 系列マーカはマグカップ、植木鉢、ワインボトルや花瓶など日常空間における円筒形の物体の検出やトラッキングに応用できる。また、球体、錐体などの回転体にも貼付可能であり、認識手法を調整することで角柱や立方体にも適用できると考えている。

今回試作した AR 試着システムでは、赤外線カメラと再帰反射素材を利用し、試着の用途に十分な検出精度と速度を達成できた。しかし、マーカ認識アルゴリズムには改良すべき点がある。より堅牢で高速な認識が実現されるのであれば、可視光カメラのみでも十分な性能を得られると考えている。特に、今回は 1 周期の M 系列をバーコードとして用いたため、接続部が正しく読めない可能性があった。今後は 2 周期の M 系列からなるバーコードを試作して、有用性を確認したい。また試着システムの試用で得られた意見を参考に、色表示の改善などの改良を行いたい。さらに、複数帯の試着が可能のように帯のデータを拡充するなどの機能拡張を行い、改良したシステムの有用性をより多数のユーザにより検証したい。

参考文献

- [1] AGC グラスプロダクツ株式会社：旭硝子板ガラス建材総合カタログ 技術資料編 (2016).
- [2] ARToolkit: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.
- [3] Ehara, J. and Saito, H.: Texture Overlay Onto Deformable Surface for Virtual Clothing, *Proceedings of the 2005 International Conference on Augmented Teleexistence*, ICAT '05, New York, NY, USA, ACM, pp. 172–179 (online), DOI: 10.1145/1152399.1152431 (2005).
- [4] Kjaerside, K., Kortbek, K. J., Hedegaard, H. and Groenbaek, K.: ARDressCode: augmented dressing room with tag-based motion tracking and real-time clothes simulation, *Proceedings of the Central European Multimedia and Virtual Reality Conference*. (2005).
- [5] Makoto, U., Kyohei, M. and Masao, I.: Augmented Reality System to use 3-dimensional Marker for 360-degrees Graphic Rotations Seamlessly in Hand-Motions, 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol. 2014, No. 13, pp. 1–8 (online), available from (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009815641/>) (2014).
- [6] Xiao, R., Harrison, C., Willis, K. D., Poupyrev, I. and Hudson, S. E.: Lumitrack: Low Cost, High Precision, High Speed Tracking with Projected M-sequences, *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 3–12 (2013).
- [7] Zhou, Z., Shu, B., Zhuo, S., Deng, X., Tan, P. and Lin, S.: Image-based Clothes Animation for Virtual Fitting, *SIGGRAPH Asia 2012 Technical Briefs*, SA '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 33:1–33:4 (online), DOI: 10.1145/2407746.2407779 (2012).
- [8] 笹沼 啓, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: 4-8 折れ曲がる面で利用可能な AR マーカの提案 (第 4 部門映像表現 (CG,AR, 計測技術)), 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, No. 2014 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009933695/>) (2014).
- [9] 小野智司, 川上雄大, 伊藤拓也, 澤井陽輔, 川崎 洋, 中山茂: ゴミ袋に貼付された歪んだ 2 次元コードの復号, 人工知能学会全国大会 (第 26 回) (2012).
- [10] 鈴木朝日, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: 7-1 円筒面で利用可能な AR マーカの提案 (第 7 部門 AR のためのメディア処理), 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, No. 2012 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009669654/>) (2012).

*8 Microsoft: <https://developer.microsoft.com/windows/kinect>

正誤表

下記の箇所に誤りがございました。お詫びして訂正いたします。

訂正箇所	誤	正
<p>5 ページ 図 6</p>	<p>マーカと認識された領域を含む矩形画像</p> <p>i 行目</p> <p>(1) $i = 9$</p> <p>数列 W: 40 38 7 9 8 41 37 2 39 (2) $S = 180$, $A_1 = 20$</p> <p>(3) $n = 5, m = 4$</p> <p>数列 X: 1 1 0 0 0 1 1 0 1 (4) $A_2 = 7.5$</p> <p>(5)</p> <p>数列 X: 1 1 0 0 0 1 1 -1 1 (6) -1 を含まない連続6ビットの数列が存在</p> <p>(7) 連続 p ビット: {11000}, {10001}, {00011}</p> <p>システムに定義した M 系列: 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0</p> <p>{11000} {10001} {00011} 連続6ビットが一致</p> <p>(7) M 系列に割り当てられた角度: 40°</p>	<p>マーカと認識された領域を含む矩形画像</p> <p>i 行目</p> <p>(1) $i = 9$</p> <p>数列 W: 40 38 7 9 8 41 37 2 39 (2) $S = 221$, $A_1 = 24.5$</p> <p>(3) $n = 5, m = 4$</p> <p>数列 X: 1 1 0 0 0 1 1 0 1 (4) $A_2 = 9.2$</p> <p>(5)</p> <p>数列 X: 1 1 0 0 0 1 1 -1 1 (6) -1 を含まない連続6ビットの数列が存在</p> <p>(7) 連続 p ビット: {11000}, {10001}, {00011}</p> <p>システムに定義した M 系列: 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0</p> <p>{11000} {10001} {00011} 連続6ビットが一致</p> <p>(7) M 系列に割り当てられた角度: 40°</p>
<p>5 ページ 8 行目</p>	<p>そこで、ランレングスの合計値 S を、これらに基づいて加重平均すれば、比 $r_1:r_2$ の 1 に相当する線幅 A_2 を求めることができる。</p>	<p>そこで、ランレングスの合計値 S を、これらに基づいて加重平均すれば、比 $r_1:r_2$ の 0 に相当する線幅 A_2 を求めることができる。</p>