

平成27年度
筑波大学情報学群情報科学類
卒業研究論文

題目

拡張現実を用いた資料へのコメント付加・共有
アプリケーションの開発

主専攻 ソフトウェアサイエンス主専攻

著者 中川 慎哉

指導教員 田中二郎 志築文太郎 高橋伸

要 旨

議事録に資料へのコメントを記録するとき、コメントされた資料の場所を併記すると資料とコメントの対応関係が不明瞭になり、議事録の確認時に不必要な手間が生じる。そこで本研究ではカメラ越しに資料を見たときにその場所へのコメントを拡張現実表示するアプリケーションを開発する。資料の場所に応じたコメントが表示されることで、ユーザは資料とコメントの対応関係を明確に把握することが可能になる。本アプリケーションはコメントの登録、閲覧、管理、および共有を行うことができる。資料上のコメントを付加したい場所を撮影しコメントを入力すると、再度その場所をカメラ越しに見たときに登録したコメントが表示される。登録されたコメントの一覧表示や編集も可能である。また本アプリケーションは周囲の端末とグループを形成して共同作業を行うことができ、登録したコメントはグループ内の端末にリアルタイムに共有される。

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	1
1.3 本研究のアプローチ	2
1.4 本論文の構成	2
第2章 アプリケーションの構成	4
2.1 コメントの登録	5
2.2 コメントの閲覧	5
2.3 コメントの共有	7
2.4 コメントの管理	8
第3章 アプリケーションの実装	10
3.1 開発環境	10
3.2 コメントの拡張現実表示	10
3.2.1 特徴量の検出と記述	11
3.2.2 マッチング	11
3.3 コメントの新規登録	11
3.4 端末間の通信	11
3.4.1 接続時の通信	13
3.4.2 コメント共有のための通信	15
3.4.3 名前リスト更新のための通信	15
3.5 データの管理	16
3.5.1 データのセーブ, ロード	16
3.5.2 データの編集, 削除	17
第4章 利用シナリオ	18
第5章 関連研究・関連サービス	19
5.1 資料へのコメント付加・共有	19
5.2 拡張現実技術を用いたコメント付加・共有	19
5.3 議事録に関するもの	20

第 6 章 結論	21
謝辭	22
参考文献	23

図目次

1.1	本研究で提案するアプリケーション	3
1.2	端末間でのコメント共有	3
2.1	アプリケーションの画面遷移図	4
2.2	メイン画面	5
2.3	コメントの登録手順	6
2.4	リスト画面	7
2.5	コメントに対する操作	7
2.6	履歴表示画面	8
2.7	端末接続画面	8
2.8	ロード画面	9
3.1	登録画像のトリミング領域	12
3.2	接続時の通信手順	14
3.3	データ共有時の通信手順	15
3.4	データのディレクトリ構成例	16

表 目 次

3.1 Wi-Fi の状態変化に関する Broadcast Intent	13
--	----

第1章 序論

1.1 研究背景

会社や研究室といった多人数が協働する場では、何らかの問題が発生したとき、関係する人々全員の意見を集め、解決方針を決定するための会議が開かれる。通常このような場では話し合われた内容について議事録がとられる。議事録とは会議ごとに書かれる文書であり、議題、議論内容、決定事項などを記録していくものである。これを見返すことで会議に参加していなかった人が後から会議の内容を把握できる。また、会議に参加していた人であっても記憶違いを防止するために利用できる。このように、会議の場における議事録は重要な役割を持つ。

また近年、議事録ドリブンと呼ばれる会議のあり方が提唱されている [1]。議事録ドリブンとは「会議は議事録を完成させるためにある」という考え方に基づいた会議であり、具体的にはプロジェクトで投影するなどして議事録が会議の参加者全員に常に見えるようにする。これにより、今この場で何について話されているのか、今までの会議で何が決定されたのか、というような会議の状況を参加者全員が把握でき、会議の迷走を抑止する効果が期待されている。

1.2 研究目的

議事録を見る時、ある問題が生じる場合がある。会議でレジュメやプレゼンテーションなどの資料が用いられ、その資料に対する意見や質問 (以下、これらをコメントと呼ぶ) が出た場合、そのコメントと共にコメントが出た資料の箇所を併記する必要がある。例えばレジュメに対するコメントであれば、資料の箇所についての記述は「○ページ目の左上の『××であるが〜』と書かれた部分」のようになる。このような記述が指す資料の場所を正しく把握するためにはその会議で使用された資料と議事録を用意し、議事録の記述から資料の該当箇所を探す必要がある。議事録の内容を確認するにあたって、この探し出す作業は余計な手間といえる。また、この問題は議事録ドリブンに則った会議でも発生しうるため、会議中に探し出す作業が行われ、会議の進行を阻害する可能性がある。

本研究は、前述のような議事録を確認する際に生じうる手間を省略するため、資料と議事録の対応関係を明確にすることを目的とする。

1.3 本研究のアプローチ

資料とコメントの対応関係を明確にする最も単純な方法として、資料の該当箇所に直接コメントを書き込むという方法が考えられる。資料を見ただけでその場所に対するコメントが確認できるため、資料とコメントの対応関係が明確になる。しかし、資料に意見を書き込めるだけの余白がない場合や、3次元物体のようにそもそも余白といえる場所が存在しない資料である場合がありうる。

このような資料の形状に左右される問題を防ぐために、本研究では拡張現実技術を用いて資料にコメントを付加する手法を提案する。具体的には、図 1.1 に示すように、端末のカメラ越しに資料を見るとその場所に対するコメントが端末の画面上に表示されるようにする。これによりあらゆる形状の資料にコメントを付加することが可能であり、かつ資料とコメントの対応関係を明確にすることが可能となる。本研究では拡張現実技術を用いて資料にコメントを付加、および閲覧できる機能を搭載した Android アプリケーションを開発し、資料とコメントの対応関係を明確にした議事録を実現する。

本研究でスマートフォンを使用する理由は、議事録ドリブンに対応するためである。議事録ドリブンを行うためには参加者全員が常に議事録を見ることができ環境が必要である。本研究のように拡張現実技術を用いて資料にコメントを付加する場合、各参加者が見たいと思う資料がカメラに映っている必要があるが、見たいと思う資料は人によってその時々に変化するため、全員でカメラの映像を共有しては使い勝手が悪い。そのため、各参加者がカメラとディスプレイを持ち、自分の見たい資料を自分のカメラで映し、自分のディスプレイでコメントを確認する方式が理想的である。そのような方式を想定したとき、カメラとディスプレイを備え持つスマートフォンが本研究に最も適しているといえる。

ただし、単なるスマートフォンアプリケーションではコメントを共有できず、誰かが入力したコメントがリアルタイムに確認できない。そこで本研究で開発するアプリケーションでは端末間で P2P 通信を行い、コメントを参加者間で共有する(図 1.2)。これにより各参加者が持つ端末上にコメントが集まり、実質的に参加者全員が議事録を常に閲覧できる環境が構築される。

1.4 本論文の構成

次章以降の本論文の構成について以下に記す。第 2 章では開発したアプリケーションの機能および使い方について述べる。第 3 章では開発したアプリケーションの実装方法について述べる。第 4 章では開発したアプリケーションが利用される想定場面について述べる。第 5 章では本研究に関連する研究を紹介し、これらを踏まえた上での本研究の位置づけについて述べる。第 6 章では本研究の結論を述べる。



図 1.1: 本研究で提案するアプリケーション



図 1.2: 端末間でのコメント共有

第2章 アプリケーションの構成

本アプリケーションの画面遷移図を図 2.1 に示す。アプリケーション起動後、画面上には端末のバックカメラの映像と数個のボタンが表示される(図 2.2)。以後、この画面をメイン画面と呼ぶ。図 2.1 から分かるように、本アプリケーションはメイン画面を中心に構成されている。本アプリケーションは以下に示す機能を有する。本章では各機能について詳しく述べる。

- コメントの登録機能
- コメントの閲覧機能
- コメントの管理機能
- コメントの共有機能



図 2.1: アプリケーションの画面遷移図

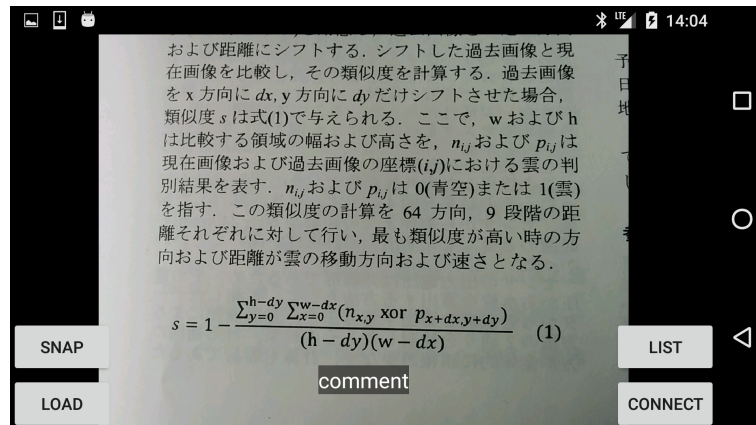


図 2.2: メイン画面

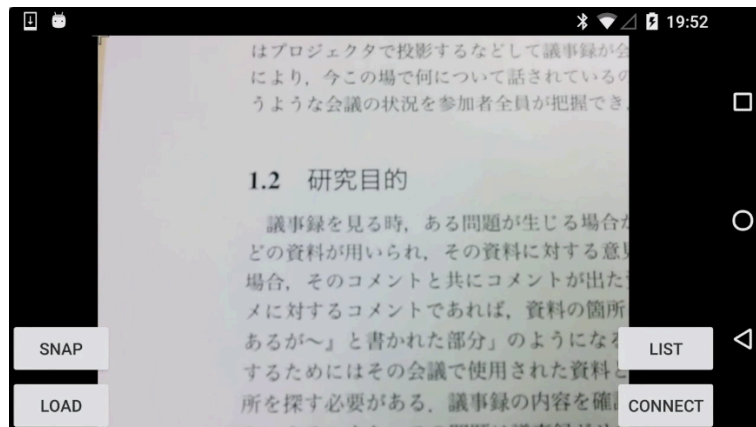
2.1 コメントの登録

コメントの登録はメイン画面から行う。コメントを登録する手順を図 2.3 に示す。まず、コメントを付与したい箇所を端末のバックカメラに映し、映したまま画面上にある「SNAP」ボタンを押す(図 2.3a)。するとコメント追加画面が表示される(図 2.3b)。コメント追加画面にはコメントを付加する場所の画像、発言者の選択フォーム、コメント入力フォーム、および OK ボタンがある。発言者の選択フォームを選択すると、現在コメントを共有している端末の端末名一覧がピッカーで表示されるため、発言者の端末名をセットする。コメント入力フォームには意見や質疑応答など、記録したいことを入力する。入力後、「OK」ボタンを押すとメイン画面に遷移する。ここで先程登録した箇所をカメラに映すと、画面中央下に先程入力したコメントが表示される(図 2.3c)。なお、発言者の選択フォームに表示される端末名は Android に標準搭載されている設定アプリケーションから変更が可能である。

2.2 コメントの閲覧

コメントの閲覧はメイン画面で行う。登録された箇所をカメラで映すと、画面中央下にその場所に対応するコメントが表示される。また、表示されているコメントが画像内のどこにあるのかを示す照準が表示される。2 つ以上の登録された箇所が同時にカメラに映った場合、最も画面中央に近いもののコメントが表示される。

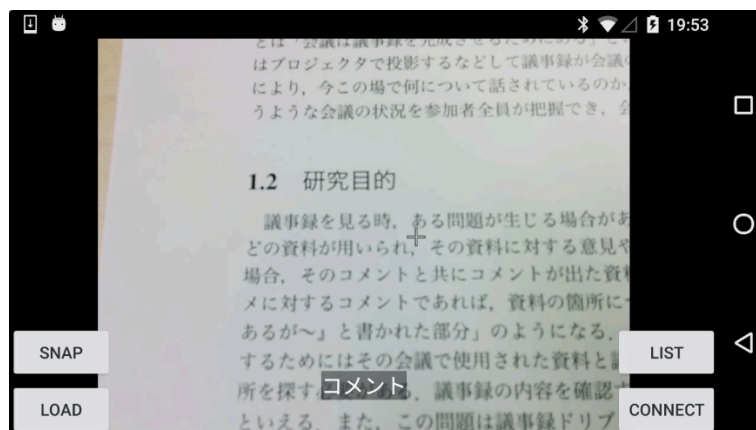
また、「LIST」ボタンを押すと、現在登録されているコメント、コメントの発言者の端末名、およびそのコメントが指す資料の場所の画像がリスト表示される(図 2.4)。その中の 1 つをタップすると、「履歴」「編集」「削除」の選択肢を持ったダイアログが出現する(図 2.5)。「履歴」を選択すると、その画像に対するコメントの編集履歴がリスト表示される(図 2.6)。リストにはコメントが編集された日時と、編集後の発言者およびコメントが登録順に表示される。編集履歴は最初に登録されたコメント情報のほか、「編集」によって変更されたコメント情報



(a) コメント追加前



(b) コメント追加画面



(c) コメント追加後

図 2.3: コメントの登録手順

が記録される。「編集」「削除」についてはコメントの管理の節で詳しく述べる。



図 2.4: リスト画面

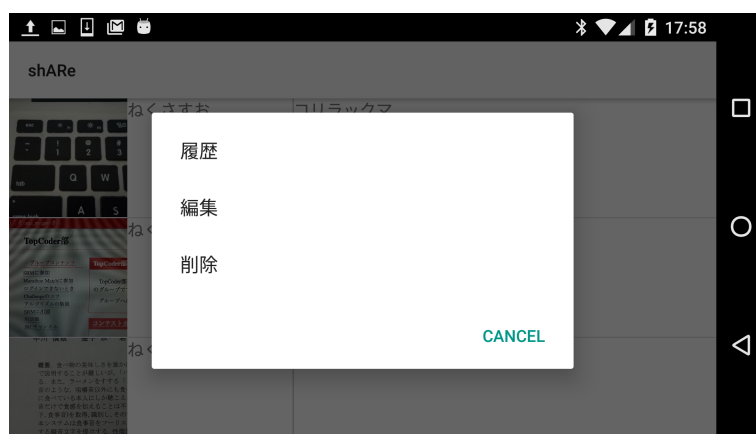


図 2.5: コメントに対する操作

2.3 コメントの共有

コメントは本アプリケーションを起動している付近の端末と共有できる。例として2台の端末間でコメントを共有する手順について述べる。まず、両端末でメイン画面の「CONNECT」ボタンを押し、端末接続画面(図 2.7)を開く。端末接続画面には「Search」ボタンがあり、これを押すと付近にある端末を検索し、検出された端末の名称がリスト表示される。なお、検出される端末は既に他端末と接続を完了している端末、または同タイミングで「Search」ボタンを押した端末のみであり、無関係な端末は表示されない。リスト表示された端末名から1つを選択すると、その端末に対して接続処理を行う。接続が成功した場合、接続成功の表示



図 2.6: 履歴表示画面

と共にメイン画面へと戻る。このとき、他端末から接続要求を受けた端末もまた接続された旨が表示されると共にメイン画面へと戻る。以上のようにして2台の端末間で接続処理が成された後、一方の端末でコメントを新たに追加すると、自動的に他方の端末へと新たに追加されたコメントの情報が送信される。

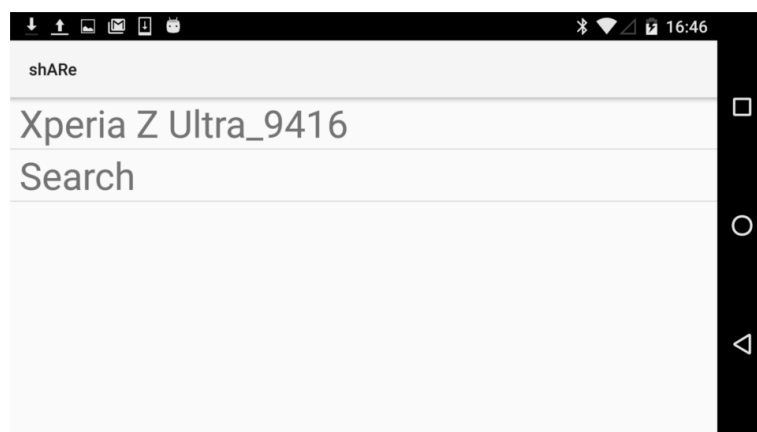


図 2.7: 端末接続画面

2.4 コメントの管理

コメントの管理とは、登録されたコメントの編集、削除、および分類を指す。編集および削除はリスト画面から行う。リストの中から対象のコメントをタップし、表示されたダイアログから「編集」または「削除」を選択する。編集を選択するとコメント登録時にコメントを入力した画面と同じものが表示され、発言者の端末名やコメントを入力し直すことができ

る。削除を選択するとリストからその項目が消え、削除した箇所をカメラに映しても何も表示されなくなる。

コメントの分類とは、コメントを対応する資料ごとに分けることである。これにより閲覧時に別の資料に対するコメントが表示されなくなり、資料とコメントの対応関係がより明確になる。コメントの分類にはメイン画面の「LOAD」ボタンを押すことで表示されるロード画面(図 2.8)を用いる。ロード画面には登録済の分類名が一覧表示され、その中から1つをタップするとその分類に属するコメントが読み込まれるほか、その後に新規登録されたコメントがその分類のものとなる。分類名を指定せずに新規登録を行った場合、その日の日付が分類名になる。分類名の新規登録もまたロード画面から行える。分類名のリストの一番上にある新規作成という項目を選択すると、分類名の入力画面が表示され、入力された分類名が新たに追加される。

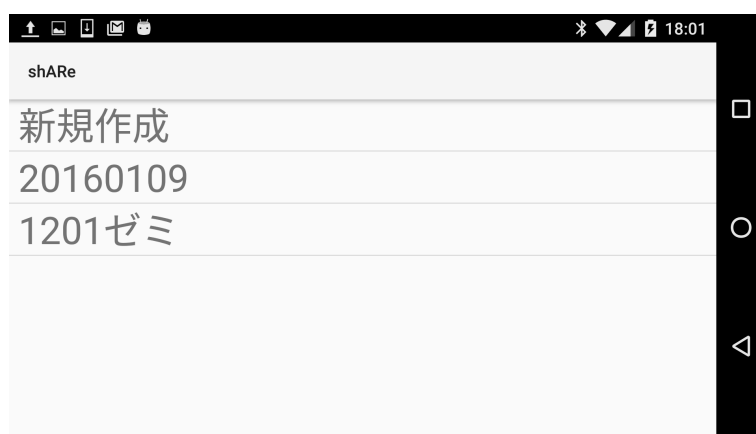


図 2.8: ロード画面

第3章 アプリケーションの実装

3.1 開発環境

本アプリケーションは Android 4.0 以上の OS が搭載された端末で動作する。開発時は Nexus 5(Android 6.0) および Xperia Z Ultra(Android 5.1.1) を用いて動作確認を行った。開発環境として Android 向けの IDE である Android Studio 1.0.1 を使用した。また、コメントの拡張現実表示に関わる機能の実装のために OpenCV for Android 2.4.11 [3] を使用した。

3.2 コメントの拡張現実表示

本アプリケーションにおけるコメントの拡張現実表示手法について述べる。まず、端末のバックカメラから取得した画像(以下、フレーム画像と呼ぶ)から特徴量を取得する。次に、フレーム画像から得た特徴量と、コメントを登録した時のフレーム画像(以下、登録画像と呼ぶ)から得た特徴量とのマッチングを行う。マッチング処理は全ての登録画像に対して行われる。フレーム画像から得た特徴量と最も一致していた登録画像を表示する画像として採用する。このとき、最も一致していた登録画像の一致具合が閾値を下回る場合、どの画像とも一致しなかったと判断して何も表示しない。閾値を上回る場合、採用した登録画像に対応するコメントを画面に表示する。

コメント表示後、照準を表示する位置の計算を行う。まず、フレーム画像と登録画像の特徴点の座標からホモグラフィ行列を推定する。これを用いてフレーム画像内にある登録画像の中心位置を計算する。最終的な表示位置は過去数回分の計算結果の平均とする。計算された位置は大きく誤差を含む場合があるため、計算された位置が画面外を示す場合はその値を無視し、過去の計算結果のみを用いて位置を決定する。

特徴量の検出、記述、およびマッチングは少し時間がかかる処理であり、フレーム画像を取得するたびに行っているためフレームレートが低下し、ユーザからの操作に対する応答が非常に遅くなる。そこで、特徴量に関する計算を別スレッドに分け、フレーム画像の表示と並行して処理を行うことで、フレームレートが 10FPS 程度で安定した。スレッドを分離した影響によってフレーム画像とフレーム画像から得た特徴量との間に時間差が生じるが、Nexus 5 で実行した場合での時間差は 0.3 秒程度であり、使用する上で特に問題にはならない。

3.2.1 特徴量の検出と記述

特徴量の検出手法および記述手法はいくつか存在し、その中の数種類は OpenCV ライブラリにより検出機能および記述機能が用意されている。本アプリケーションでは検出および記述の両方に ORB[5] を採用している。ORB は比較的最近に提唱された手法であり、FAST や BRIEF などの既存の手法を更に発展させたアルゴリズムを使用している。また、特徴量検出手法としてよく用いられている SIFT や SURF と比べて処理が高速であり、かつ精度がそれらとほぼ同等である。リアルタイムな動作が求められる本アプリケーションにとって処理速度は重要な要素といえるため、ORB を採用した。

3.2.2 マッチング

特徴量同士のマッチング手法は OpenCV ライブラリによって数種類用意されている。本アプリケーションでは BruteForce-Hamming を採用した。ORB が特徴量をバイナリで記述するため、ハミング距離によるマッチングが適していると判断したためである。

3.3 コメントの新規登録

コメントの新規登録時、SNAP ボタンを押下した時点でのフレーム画像 (登録画像と呼ぶ) と、コメント入力画面で入力された発言者、およびコメントが登録される。登録画像はフレーム画像中央から正方形領域をトリミングしたものである。これは図 3.1 の白色マスク部分に相当する。フレーム画像の幅を w 、高さを h とするとき、登録画像の 1 辺の長さを $\min(w,h)*4/5$ とした。トリミングを行う理由は、ユーザがコメントの拡張現実表示を行いやすくなるからである。仮にフレーム画像全体を登録画像として使用した場合、登録時よりも資料とカメラとの距離が近くなったり、少し手ぶれが起きただけでもフレーム画像と登録画像の間に不一致箇所が発生し、コメントが正しく表示されないことが起こりうる。トリミングによって上下左右に少し余裕を持たせておくことで、多少の拡大や手ぶれに対して頑強になり、使いやすさの向上に繋がる。また、フレーム画像の縦横比が端末に依存することも正方形にトリミングする理由の 1 つである。

3.4 端末間の通信

端末間の通信を行う手法には P2P 通信を用いて直接的に通信を行う手法とサーバを用いて間接的に通信を行う手法があるが、本アプリケーションでは P2P 通信を用いる手法を採用した。サーバを用いる手法は事前にサーバを用意する必要があり、本アプリケーションを導入する敷居が高くなる。また、サーバは見知らぬ第三者に情報が漏れるリスクを伴うが、P2P 通信であれば一時的に形成されたローカルなネットワークでのみ通信が行われるために情報が

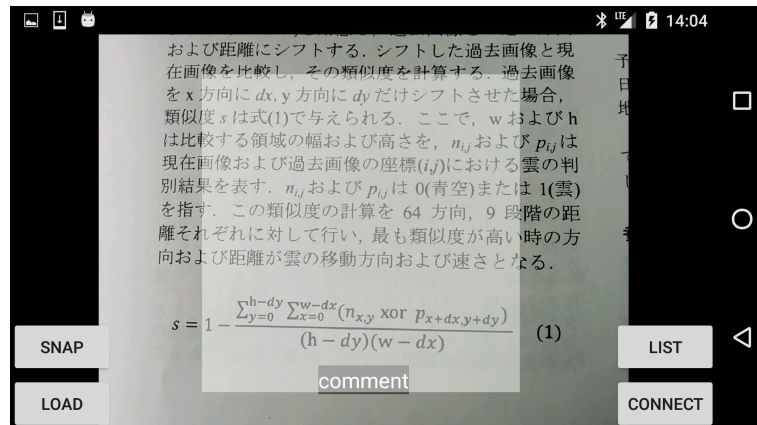


図 3.1: 登録画像のトリミング領域

漏れるリスクが比較的低い。会議で用いる資料が部外秘の情報である可能性も考慮し、本アプリケーションでは P2P 通信を採用した。

P2P 通信は Wi-Fi Direct [2] を用いて実装する。Wi-Fi Direct とは Wi-Fi が使用できる端末同士を接続するための規格である。1 台の端末がアクセスポイントのような役割を担うことで、Wi-Fi 対応端末のグループを構成できるという特徴がある。Wi-Fi Direct を用いて接続された端末にはプライベート IP アドレスが割り振られるため、同じグループ内であればソケット通信を用いて端末間通信が行える。ソケット通信を行うには IP アドレスと共にポート番号が必要だが、本アプリケーションが行う通信のポート番号は 3939 で統一している。

相手から送られるソケットを受信するには、ServerSocket を生成し相手からデータが送られるのを待つ必要がある。待っている間その処理を行うスレッドは停止するため、受信処理は専用のスレッドを生成して行う。受信処理を行うスレッドはアプリケーション起動時に生成し、アプリケーション終了時に破棄する。特定の画面に依存しないように設計することで、アプリケーションがどの画面を開いていても受信が行えるようにしている。

Android には Wi-Fi Direct を用いた端末同士の P2P 接続をサポートする API があり [4]、本アプリケーションではその API を用いて実装した。Android は Wi-Fi P2P の状態変化に応じて表 3.1 に示す 4 種類の Broadcast Intent を送信する。本アプリケーションではこれらの Broadcast Intent を受信する Broadcast Receiver を生成・登録し、状態変化に応じた動作を行う。

本アプリケーションは以下の 3 種類の通信を行う。

- 接続時の通信
- コメント共有のための通信
- 端末名リスト更新のための通信

表 3.1: Wi-Fi の状態変化に関する Broadcast Intent

名称	意味
WIFI_P2P_STATE_CHANGED_ACTION	Wi-Fi P2P が有効化または無効化された P2P 接続が可能な端末リストが更新された 接続している端末の状態が変化した 自身の端末の状態が変化した
WIFI_P2P_PEERS_CHANGED_ACTION	
WIFI_P2P_CONNECTION_CHANGED_ACTION	
WIFI_P2P_THIS_DEVICE_CHANGED_ACTION	

3.4.1 接続時の通信

接続処理を行う前に、接続先の端末を検索する必要がある。検索を開始して端末が見つかった場合、WIFI_P2P_PEERS_CHANGED_ACTION の Broadcast Intent が発信される。この Intent に発見した端末のリストが含まれており、Broadcast Receiver ではこのリストから得られた端末名を端末接続画面にリスト表示する。

接続時に行われる通信の手順を図 3.2 に示す。2 台の端末が接続処理を行ったとき、接続と同時にグループが形成され、一方の端末が GroupOwner に、他方の端末が Client になる。どちらの端末が GroupOwner になるかについては、接続時に優先度を設定することが可能だが、必ず一方が GroupOwner になるような設定はできないため、どちらが GroupOwner になっても問題が起きないように設計する必要がある。自身が GroupOwner であるか否か等の情報は、接続後に発信される WIFI_P2P_CONNECTION_CHANGED_ACTION の Broadcast Intent から受け取ることができる。

接続後、Client には GroupOwner の IP アドレスが通知される。通知された後、Client はソケットを作成し、GroupOwner に向けて自身の IP アドレスを送信する。これにより、GroupOwner から Client への通信も可能となる。また、このとき同時に自身の端末名も送信する。端末名の扱いについては名前リスト更新のための通信の項で述べる。

Client から GroupOwner へ送信するデータの最初の 1byte は ASCII コードの「i」とする。これにより接続時の通信であることを GroupOwner に認識させる。2byte 目以降に端末名を、その後に IP アドレスの文字列を送信する。GroupOwner は IP アドレスを受信した後、IP アドレスリストに受信した IP アドレスを追加する。

通信時の文字列の送信方法について述べる。文字列のみを送信すると、2 つの文字列を連続して送信する際に文字列の境界が分からなくなり、受信側で正しく処理できない。そこで、文字列を送信する際は最初の 2byte に文字列長を格納し、その後に文字列のデータを送信する。これにより受信側では最初の 2byte から得た長さの分だけ読み込めば正しく受信することができる。長さの表現を 2byte で行うために送信できる最大の長さは 65535byte となるが、文字列は UTF-8 でエンコードされたものを送受信するため、日本語であれば 1 文字 3byte 必要になる。よって、日本語であれば 21845 文字まで送受信が可能といえる。これは送受信する情報(端末名、IP アドレス、およびコメント)を表現するのに十分な長さである。本アプリケーションで文字列を送受信する際は全てこの方法を用いている。

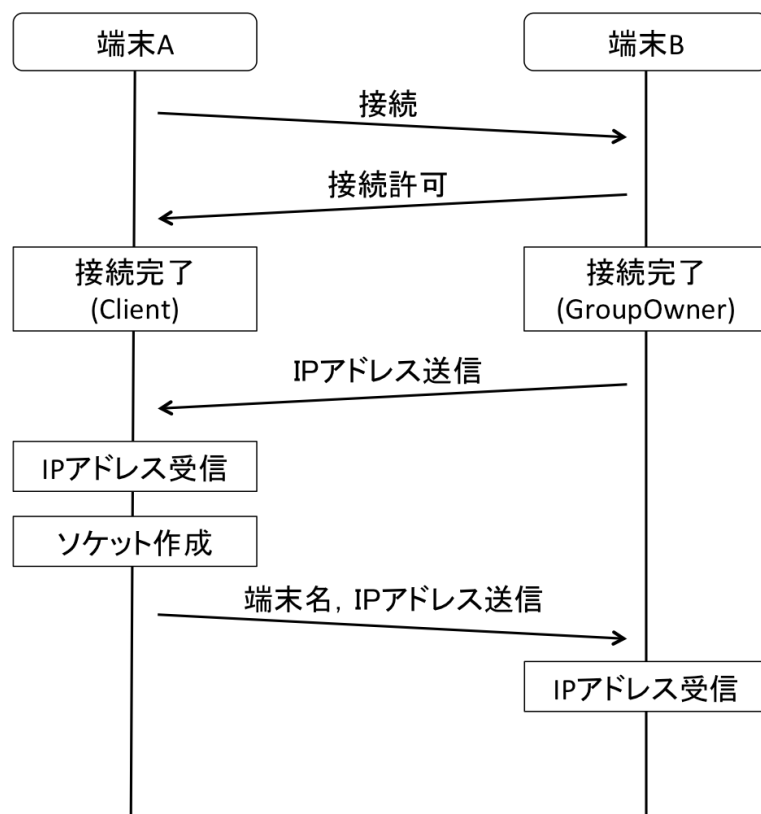


図 3.2: 接続時の通信手順

3.4.2 コメント共有のための通信

ある端末で新たなコメントが登録されたとき、グループ内でコメントを共有するために通信が行われる。このときのデータ通信の手順を図 3.3 に示す。拡張現実表示の実現のために、コメントと共にそのコメント登録時に撮影した画像も送信する必要がある。このコメントと画像の対をデータと呼ぶ。Client の 1 つが新たなデータを登録したとき、GroupOwner に対してのみデータを送信する。データの最初の 1byte を ASCII コードの「n」とすることで新規データであることを表し、先述した IP アドレスの通知と区別する。その後発言者の端末名とコメントを、それ以降に画像データを送信し、受信側でコメントと画像データを受信、および登録処理を行う。GroupOwner はデータ受信後に最初のデータ送信者を除く Client 全員に対して同じデータを送信し、新規データをグループ全員で共有する。なお、最初の登録が GroupOwner の端末で行われた場合は全ての Client に対して新規データを送信するのみである。

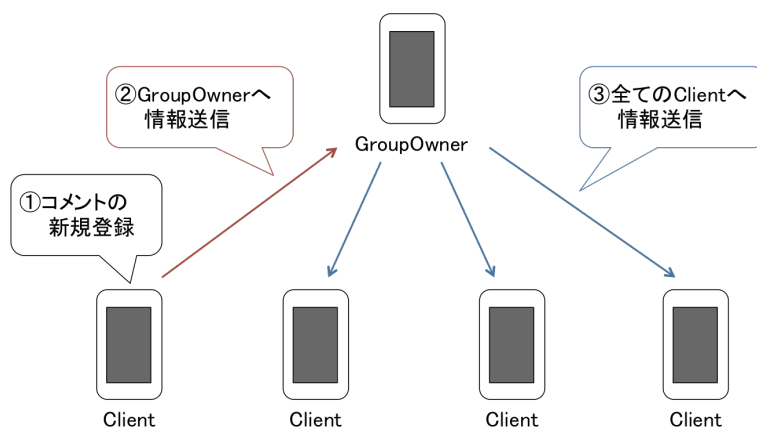


図 3.3: データ共有時の通信手順

3.4.3 名前リスト更新のための通信

各端末はグループに所属する端末の名前のリストを持つが、このリストは2つのタイミングで更新される。1つは新たに端末がグループに加わった時である。接続時の通信で GroupOwner は Client から端末名を受信する。この端末名は GroupOwner が持つ端末名リストに追加される。リスト追加後、追加された Client を含む接続済みの Client 全てに対して端末名リストを送信する。端末名リストのデータは 1byte 目を ASCII コードの「l」とし、2byte 目以降に改行記号を区切り文字として端末名を一繋ぎにした文字列を送信する。受信側では改行記号を目印に文字列から端末名を抽出し、端末名のリストを再構築する。端末名自体に改行記号を入力することは禁止されているため、改行記号を区切り文字として使用すれば一意に再構築できる。

3.5 データの管理

登録されたコメントのデータは外部ストレージの DCIM/shARe ディレクトリ内に格納される。正確には、Environment.getExternalStoragePublicDirectory(Environment.DIRECTORY_DCIM) メソッドから得られるディレクトリの直下に shARe ディレクトリを生成し、その内部に本アプリケーションで使用する全てのデータを格納する。ディレクトリ構成の例を図 3.4 に示す。shARe ディレクトリ内には複数のディレクトリがあり、それぞれが分類名に相当する。各ディレクトリの中には登録された画像と comment.txt が保存される。登録された画像には登録日時を文字列化した名前がつけられる。例えば 2015 年 1 月 2 日 13 時 4 分 5 秒に登録された場合、画像名は「20150102130405.jpg」となる。この画像に対するコメントは画像と同じ名前の txt ファイルに記録される。

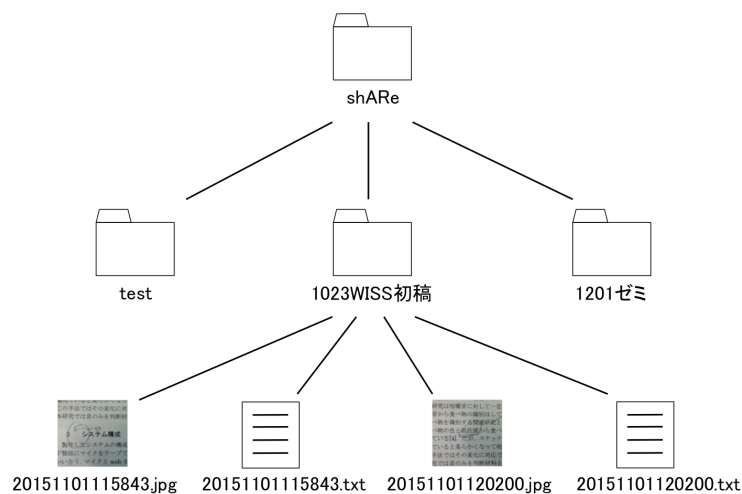


図 3.4: データのディレクトリ構成例

3.5.1 データのセーブ、ロード

画像とコメントのセーブは新規登録時、または他端末から送られてきた新規登録データ受信時に自動的に行われる。画像は jpg 形式で保存し、自端末での新規登録時は画像名を現在時刻から生成し、他端末から送られてきたデータの場合は同時に送られる画像名を用いる。発言者の端末名およびコメントは txt ファイルに記録される。発言者の端末名とコメントを「/」で区切り、1 行で記録する。発言者の端末名には「/」を設定することができないため、文字列の最初に現れた「/」を目印に発言者の端末名とコメントを分離できる。

ロードはロード画面から行われる。ロード画面には shARe ディレクトリ内にあるディレクトリの名前がリスト表示され、その中の 1 つを選ぶとそのディレクトリ内にある画像およびコメントのデータを読み込む。また、リストの一番上には新規作成という項目があり、それを選ぶとディレクトリ名の入力画面へと遷移する。ディレクトリ名を入力して OK ボタンを

押すと、その名前のディレクトリを新規作成し、それ以降に登録されたデータはそのディレクトリ内に保存される。

3.5.2 データの編集，削除

発言者およびコメントの編集は，txt ファイルに追記することで実現する．このとき，編集前のコメントは削除せずに保持しておく．これにより履歴の表示が可能になる．txt ファイルには「(コメントが登録された日時)/(発言者の端末名)/(コメント本文)」の形式で記録する．追記という実装方法のために txt ファイルの 1 行目に最も古いコメントがあり，最終行に最も新しいコメントがあるため，メイン画面，およびリスト画面でのコメント表示には txt ファイルの最終行にあるコメントを使用する．

データの削除は該当する画像および txt ファイルを削除するのみである．

第4章 利用シナリオ

Aは大学院生である。自身の研究について学会で発表することになったAは、研究室のメンバーを前に発表練習を行った。発表内容に対してメンバーは様々なコメントを発したが、この中にはあらかじめ配布された研究概要やプレゼンテーションの特定のページに対してのコメントも含まれていた。発表練習で議事録を担当していたBは、このようなコメントが出た場合は資料の該当箇所を本アプリケーションで撮影し、発言者の端末名とコメントの内容を登録する。このように登録することでBは資料の該当箇所の文書での表現を考える必要がなく、コメントを素早く記録できた。

研究室のメンバーの1人であるCは、Aの発表に対して今まで出たコメントを確認したいと思い、本アプリケーションを起動した。議事録を担当しているBの端末と接続することで今まで出たコメントのデータを受け取ることができる。コメントを確認していたCは、自分が発したコメントに記録ミスがあることを発見した。Cはコメント一覧画面からそのコメントを選択し、コメントの編集を行った。編集した情報はBの端末にも共有され、議事録のミスを防ぐことができた。

同じく研究室のメンバーであるDは、Aの発表に対してコメントを持ったが、時間の都合で発言する機会が与えられなかった。そこでDは本アプリケーションを起動し、Bの端末と接続した後、自分が言いたかったコメントを登録した。発表練習後にAに直接伝えることもできるが、Dと同じように伝えられなかった人が複数いた場合を考えると、直接伝える人数の分だけAに時間を取らせることになる。しかし本アプリケーションを経由して伝えることで、Aに時間を取らせることなく、かつAにとって確認しやすい形式で伝えることができる。

発表練習後、AはBからコメントのデータを受け取り、コメントを見ながら資料を修正する作業に取り掛かった。Aは本アプリケーションを起動した端末のカメラに資料を映し、画面上に表示されるコメントを確認しながら資料を修正した。カメラに映る箇所に対するコメントが自動的に表示されるため、Aはその箇所へのコメントの確認漏れをすることなく修正を行うことができた。また、発言者名も同時に確認できるため、コメントに対して気になる点があれば直接その人に質問することができた。こうしてAは資料とコメントの対応関係が明確になった議事録を用いて発表内容を最大限修正し、学会発表で良い成果を納めた。

第5章 関連研究・関連サービス

5.1 資料へのコメント付加・共有

ファイル形式の1つであるPDFには、文書、図形、動画などの様々なものを、PDF上の任意の場所に追加できる機能がある。また、Microsoft社が提供するWordにも文書に対してコメントを付加する機能がある。しかし、これらはコメントを多人数間でリアルタイムに共有することができず、共有する場合はクラウドサービスなどを用いてファイルごと共有する必要がある。そのため、共有されるファイルが更新されるまでは最新のコメントを確認することができず、リアルタイム性に欠けるという問題を持つ。

資料にコメントを付加し、多人数間で即時共有できるサービスにGoogleドキュメント[6]やOffice Online[7]がある。これらのサービスでは文書を多人数で同時に閲覧および編集することができるほか、特定の文章に対してコメントを付けることが可能である。また、編集した文書や付加したコメントは全ての閲覧者に即時共有される。会議で使用する資料をあらかじめこれらのサービスで扱える形式に変換しておくことで、本研究のアプローチに近い方法での使用が可能となる。

Yoonらは電子ファイルの資料に対して任意の場所に余白を追加し書き込みを行える手法を提案した[8]。ユーザは特定の操作を行うことで資料上に余白を自由に生成でき、また書き込みも自由に行える。資料上の特定箇所にコメントを付加したいとき、この手法を用いれば資料に直接コメントを付加することができる。

これらの研究およびサービスのコメント付加は、資料の形式によっては使用できないという問題を持つ。いずれも資料が電子ファイル化されている必要があり、新商品のプロトタイプのような3次元立体的な物体にコメントを付加することができない。また資料が静的なものである必要もあり、例えば動画の一部分にのみコメントを付加したり、物体がとる特定の形状に対してのみコメントを付加するようなことも難しい。本アプリケーションは撮影可能なものであればコメントを付加できるため、より広範囲の資料に対してコメントを付加することができる。

5.2 拡張現実技術を用いたコメント付加・共有

拡張現実技術を用いて実世界にコメントを付加・共有するサービスにセカイカメラ[9]がある。世界中のあらゆる場所に文章、画像、音声を変タグとして置くことができ、スマートフォンのカメラ越しに周囲を見ると誰かが置いた変タグを閲覧できるというサービスであ

る．このサービスは表示するエアタグを決定する際に現在位置の情報を使用し，付近にあるエアタグのみを表示するため，会議のように常に同じ場所で開かれるとは限らないものに対して使用することは難しい．本アプリケーションは画像から得た特徴量のみをコメント表示の決定材料としているため，場所に縛られることなく使用できる．

笠原らはタブレット端末越しに見た空間に自由に文字や絵を描き，描いたものをリアルタイムに端末間で共有するシステムを開発した [10]．こちらは画像ベースで拡張現実表示を行っており，場所の制約を受けない．しかし，マーカーとなる画像をサーバで管理しており，登録した文字や絵はシステムの利用者全員に見えるようになるため，時として部外秘の情報について話し合われる会議の場で議事録として使用するのでは問題があるといえる．

5.3 議事録に関するもの

議事録をとるためのソフトウェアとして eXtreme Meeting(XM) [11] がある．TODO 管理機能やホワイトボード機能などの会議を円滑化するためのツールを多数有しており，それらを全て議事録として記録できる．また XM はブラウザからアクセスすることができ，多人数での同時編集も可能である．しかし，本研究が目的とする資料とコメントの対応関係の明確化については特に対応していない．

第6章 結論

本研究では拡張現実技術を用いて資料に直接コメントを付加し、そのコメントを端末間で共有できる Android アプリケーションを開発した。ユーザは自身が持つ端末からコメントを付加したい資料を撮影し、コメントを入力することで、カメラ越しに資料を見た時にコメントを確認できる。また、コメントの情報を周囲のユーザと共有する。本アプリケーションを用いることで、コメントを議事録に記録する際に生じていた資料とコメントの対応関係を記述する手間を軽減し、かつ資料とコメントの対応関係をより明確にすることができる。その結果、議事録を見直す際に生じていたコメントが資料のどこを指しているのかを探す手間を減らすことができる。この手間軽減によって確認作業を効率化できるほか、議事録ドリブンに則った会議であれば会議の円滑化にも繋がる。

今後の課題として遠隔会議への対応が挙げられる。近年、ビデオ通話等の普及により遠隔地にいる人と会議を行う機会が増加している。しかし、本アプリケーションは P2P 通信を使用するため、遠隔会議では遠隔地にいる人とコメントを共有することができない。この問題はサーバを用いるなどで解決できるが、端末間の通信の項で述べたように P2P 通信を用いた方が良いと考えられる場合もある。このようにサーバを用いる手法と P2P 通信を用いる手法にはそれぞれ適した会議の形式があるため、利用者側が会議に応じてコメントの共有手法を自由に選択できるようにすることが望ましい。また、本アプリケーションを用いて実際に会議を行い、参加者から得られた意見および感想によって本アプリケーションの有用性を確認することも今後の課題である。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である田中二郎教授をはじめ，志築文太郎准教授，高橋伸准教授および嵯峨智准教授には，多くの貴重なご意見を頂きました．心より感謝申し上げます．また，インタラクティブ・プログラミング研究室の方々，特にNERFチームの方々からも多くのご意見を頂きました．深く感謝致します．

参考文献

- [1] 鈴木健. 究極の会議. ソフトバンククリエイティブ, 2007.
- [2] Wi-Fi Direct | Wi-Fi Alliance. <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct> (2016 年 1 月 6 日確認)
- [3] ANDROID | OpenCV. <http://opencv.org/platforms/android.html> (2015 年 12 月 31 日確認)
- [4] Wi-Fi Peer-to-Peer | Android Developers.
<http://developer.android.com/intl/ja/guide/topics/connectivity/wifip2p.html> (2015 年 12 月 20 日確認).
- [5] Rublee, Ethan and Rabaud, Vincent and Konolige, Kurt and Bradski, Gary. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. Proceedings of the 2011 International Conference on Computer Vision, pp.2564-2571, 2011.
- [6] Google ドキュメント - オンラインでドキュメントを作成/編集できる無料サービス.
<https://www.google.co.jp/intl/ja/docs/about/> (2015 年 12 月 24 日確認)
- [7] オンラインでファイルの共同作業 - Office Online. <https://products.office.com/ja-jp/office-online/documents-spreadsheets-presentations-office-online> (2016 年 1 月 14 日確認)
- [8] Yoon, Dongwook and Chen, Nicholas and Guimbretière, François. TextTearing: Opening White Space for Digital Ink Annotation Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.107-112, 2013.
- [9] 小林亜令. 第 64 回 モバイル AR プラットフォーム: セカイカメラ/セカイカメラ ZOOM(知っておきたいキーワード). 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア 65(5), pp.660-662, 2011.
- [10] Kasahara, Shunichi and Heun, Valentin and Lee, Austin S. and Ishii, Hiroshi. Second Surface: Multi-user Spatial Collaboration System Based on Augmented Reality. SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies, pp.20:1-20:4, 2012.
- [11] 会議の効率と生産性を高めるソフトウェア「eXtreme Meeting」の販売を開始: サイオステクノロジー株式会社. <http://www.sios.com/news/press20080331.html> (2015 年 12 月 31 日確認)