

卒業論文 2010年度（平成22年度）

物理空間における視覚情報を利用した
デジタルコミュニケーション支援手法

慶應義塾大学 環境情報学部

氏名：三部 剛義

担当教員

慶應義塾大学 環境情報学部

村井 純

徳田 英幸

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

重近 範行

Rodney D. Van Meter III

植原 啓介

三次 仁

中澤 仁

武田 圭史

平成23年3月10日

物理空間における視覚情報を利用した デジタルコミュニケーション支援手法

本論文では、同じ場所にいる人同士が、通信機器を用いて一対一もしくは一対多のデジタルコミュニケーションをする時の、その開始作業を簡略化するための手法を提案し実装した。

人同士が会話を行う際には、視覚を用いて相手を直観的に識別している。しかしデジタルコミュニケーションを開始する為には、相手の識別子を知り、その識別子を通信機器に入力する必要がある。本論文ではまず、会話からデジタルコミュニケーションを開始する際に発生する、2つの問題点について述べる。1つ目の問題点は、声で識別子を伝達する作業の煩雑さである。声を用いて識別子を伝達する際、相手の聞き間違いによって伝達が失敗する可能性がある。2つ目の問題点は、識別子を通信機器に入力する作業の煩雑さである。人が得た識別子の情報を、通信機器のキーボードを用いて入力する作業の煩雑さを問題としている。

本研究ではこれら2つの問題を解決する為に、通信機器に搭載された画面とカメラを用いる通信路である視覚チャンネルを用いた識別子の伝達手法を提案した。この視覚チャンネルは、デジタルコミュニケーションに用いる識別子を画像化して画面に表示することで送信し、カメラで撮影して復号することで受信する。通信機器同士で直接情報伝達を行うことで、伝達失敗のリスクや入力作業の煩雑さといった本研究の問題を解決する。さらに視覚チャンネルは、情報伝達は一方向かつ拡散性のある手法であり、ユーザが視認できる相手全てに識別子を渡すことができる。

本研究の提案手法の有用性を検証するため、既存手法との比較評価を行った。具体的な内容は、ユーザがデジタルコミュニケーションを開始する時に各手法がユーザに要求する作業の特性や回数の比較である。比較結果により、一対一のデジタルコミュニケーションにおいて本手法と既存手法の性能が同等である事と、一対多のデジタルコミュニケーションにおいて本手法が既存手法より優れていることを評価した。

本手法を用いることで、同じ場所にいる人同士が、一対一もしくは一対多のデジタルコミュニケーションを円滑に開始できるようになった。

キーワード:

1. ユーザインターフェイス
2. コミュニケーション支援
3. 光学式マーク認識
4. QRコード

An Assistive Method for Digital Communication
Using Visual Information on the Real Space

This thesis proposes an idea to simplify the steps that is needed to start a one-to-one or one-to-many digital communication using computers with people in the same area. Also, this thesis will design and create a software based on this idea.

When people communicate, they visually identify each other. However, to start a digital communication, it is needed to first know the destination's identifier and entering it in the communication device before starting one. This thesis will raise two problems involved in vocally exchanging the identifier to start a digital communication. First problem is the complexity involved in exchanging the identifier vocally. When we exchange the identifier vocally, it is possible for the exchange to fail due to miscommunication. Second problem is complexity invoved in entering the identifier in the communication device. Entering an identifier a person got vocally using keyboard is complex.

This thesis proposes a method of using "visual channel" which would be a display and a camera on a communication device to exchange the destination identifier to solve these problems. This "visual channel" converts the destination identifier required to start a digital communication into an image to send the data using a display, then communication opponent receives the identifier using a camera. By making the communication device directly exchange the identifier, we solve the complexity invoved in exchanging it vocally. Also, visual channel is one direction and spreadable, enabling people who can see the display to receive an identifier.

This thesis compares the proposed method with existing methods to verify the effectiveness of the proposed method. In detail, this thesis compares the actions which users are required to do in order to start a digital communication and the number of times the users have to it. From the comparison, this thesis verifies that in one-to-one digital communications, the existing methods and the proposed method performs the same, however in one-to-many digital communications, the proposed method performs better.

By using the proposed method, it is possible for people in the same area to start one-to-one or one-to-many digital communications smoothly.

Keywords :

1. User Interface ,2. Communication Assist ,3. Visual Mark Identification ,4. QR Code

Keio University, Faculty of Environment and Information Studies

Takayoshi Mibe

目次

第1章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	背景	4
2.1	コミュニケーションモデルの分類と考察	4
2.1.1	道具を用いないコミュニケーションのモデル	5
2.1.2	通信機器を用いたデジタルコミュニケーションのモデル	5
2.2	コミュニケーションの拡張	6
2.3	本研究がターゲットとする利用シーン	6
2.4	デジタルコミュニケーション開始時の問題点	7
2.4.1	会話のみを用いた場合の問題点	7
2.4.2	本研究の要件	8
2.5	既存技術の考察	9
2.5.1	既存技術：Bump	9
2.5.2	既存技術：FeliCa	10
2.5.3	既存技術：IrDA	11
第3章	アプローチ	12
3.1	要件の再確認	12
3.2	位置関係に関する問題への考察	13
3.3	一対多の通信に関する問題への考察	13
3.4	可視光を用いた情報伝達	13
3.4.1	可視光による情報の符号化手法	14
3.4.2	通信機器が可視光を発光する手法	15
3.5	提案するデジタルコミュニケーションの開始手法モデル	16
3.6	本研究が用いる可視光の情報伝達手法	17
3.7	QRコードの伝達能力	17
3.7.1	データ量を決定する要素	18
3.7.2	携帯電話のカメラによるQRコードの取得能力調査	19

第4章	設計	21
4.1	視覚チャンネルの設計	21
4.2	システム全体の設計	22
4.3	モードの設計	23
4.4	汎用アプリケーションの設計の概要	24
第5章	実装	26
5.1	システム全体の概要	26
5.2	実装したアプリケーションの概要	27
5.3	汎用アプリケーションの動作概要	28
5.3.1	画面モードの動作	28
5.3.2	カメラモードの動作	29
5.4	外部アプリケーションについて	30
第6章	評価	32
6.1	指向性による比較	32
6.2	可視光を用いた情報伝達手法に対する評価	33
6.3	画像化による情報の符号化に対する評価	34
6.4	ユーザの作業回数に関する評価	35
6.4.1	想定環境と作業回数の数え方	35
6.4.2	評価と比較の結果	36
6.5	評価のまとめ	37
第7章	結論	39
7.1	本論文のまとめ	39
7.2	今後の課題	40
	謝辞	42

目 次

2.1	コミュニケーションモデルの分類	4
2.2	本研究が想定する利用シーン	7
2.3	会話をういたデジタルコミュニケーション開始モデル	8
3.1	可視光を用いた情報伝達の符号化手法	15
3.2	jpg 貼り付けサンプル	16
3.3	QR コードの拡大図	18
3.4	QR コード取得可能距離の調査の様子	20
4.1	視覚チャンネルの利用モデル	22
4.2	本システムのデジタルコミュニケーション開始モデル	22
4.3	モードの分岐モデル	23
4.4	本システムの動作設計	24
5.1	画面の遷移関係	27
5.2	アプリケーション起動前の画面	27
5.3	動作モードの選択画面	28
5.4	通信モードの選択画面	29
5.5	画面モードで表示された QR コード	29
5.6	QR コードを撮影している画面	30
5.7	転送するファイルの選択画面	30
5.8	ファイルを受信したカメラ側の画面	30
6.1	ユーザが行う作業回数のカウント例	36
6.2	開始ステップ数：会話	36
6.3	開始ステップ数：既存手法と本手法	37

表 目 次

2.1	各手法と本研究の要件との比較	9
3.1	可視光を発することができるハードウェアの比較	15
3.2	QR コードのモード	18
3.3	端末別の QR コード取得のバージョン数限界	19
3.4	端末別の QR コード取得の距離限界	20
4.1	通信モードと必要なオプション情報の比較	25
5.1	実装環境	26
5.2	疑似 HTTP サーバの返答ルール	31
6.1	情報を受信する際の指向性の強弱	32
6.2	可視光を用いた情報伝達手法の比較評価	34

第1章 序論

1.1 はじめに

人同士が行うコミュニケーションは、道具を用いるか否かの2種類に分類される。道具を用いないコミュニケーションの具体例には、相手が発した声を聴覚情報として受け取る会話がある。道具を用いるコミュニケーションは、さらに2種類に分類される。1つは筆談の様に、電子機器を用いないコミュニケーションであり、もう1つはメールの様に電子機器を用いるデジタルコミュニケーションである。人は携帯電話やラップトップコンピュータといった通信できる電子機器を用いることで、ファイルの転送やゲームの対戦等のデジタルコミュニケーションを行う。

本研究では、会話を行える状況にある複数のユーザがデジタルコミュニケーションを行う場合を想定している。会話を行える状況とは、相手を視認し声が通じる状況を指している。本研究ではさらに、実行するデジタルコミュニケーションについて、一対一の場合だけでなく一対多の場合を想定する。一対多でのデジタルコミュニケーションの具体例には、研究発表における資料やアプリケーションの配布がある。実際に一対多のコミュニケーションを行う場合には、ユーザ同士が数メートル程度離れていることを想定する。本研究の想定環境においてデジタルコミュニケーションを開始するためには、各ユーザが持つ通信機器に対して、実行するアプリケーションと通信する相手を指定する必要がある。

本研究で定義した状況において、ユーザ同士の会話だけでデジタルコミュニケーションを開始する際に、2つの問題が発生する。1つ目の問題点は、会話によってデジタル空間でユーザを特定する識別子を渡す際に発生する。声による識別子情報の伝達は、周囲の騒音や声の大きさ、単語の紛らわしさによって失敗することがある。2つ目の問題点は、聞き取った識別子情報を自分の通信機器に入力する際に発生する。会話によって人が記憶した識別子情報は、通信機器に入力する作業が必要がある。この作業が煩雑さを2つ目の問題点としている。

会話によって発生するこの2つの問題は、各ユーザが持つ通信機器同士が物理空間を利用して直接通信を行うことによって解決される。この解決の手法は、アプリケーションの動作で解決する手法と通信ハードウェアの規格で解決する手法の2種類に分類される。アプリケーションの動作で解決する手法の具体例としてはBumpがあり、通信ハードウェアの規格で解決する手法の具体例としてはFeliCaやIrDAがある。しかしこれらの既存手法には、会話によってデジタルコミュニケーションを開始する場合とは異なる2つの問題点がある。1つ目の問題点は、一対多のデジタルコミュニケーションが行えない点である。この問題点は、アプリケーションによる既存手法と通信規格による既存手法の両方に共通して言える。これは、各手法が通信の相手を1人に限定することで、機密性のある通信を

提供しているからである。2つ目の問題点は、ユーザ同士の距離が非常に近い場合しか利用できない点である。この問題点は、通信規格による既存手法に対して言える。これは、物理的な近さを利用している手法のため、離れた相手を指定出来ないためである。

1.2 本研究の目的

本研究は、以下に述べる4つの要件を満たす手法を提案することで、同じ場所にいる人同士が行う、一対一もしくは一対多なデジタルコミュニケーションが円滑に開始されることを目的としている。

1つ目の要件は、デジタルコミュニケーションに用いる識別子の伝達手法に関するものである。識別子を会話を用いて伝達する際、周囲の騒音や単語の紛らわしさの要因によって伝達が失敗するという問題点がある。もし伝達が失敗した場合には、ユーザ同士が再度伝達を試みる必要がある。よって本研究の提案手法では、情報の伝達が失敗しにくくする必要があるのである。

2つ目の要件は、通信機器内のアプリケーションが通信相手を決定する処理に関するものである。識別子を会話を用いて伝達する際、人が記憶した相手の識別子を通信機器に入力する必要がある。メールアドレスやSNSのIDといったデジタル空間で相手を特定する識別子を通信機器のキーボードを通して入力する作業は、ユーザに対して非常に煩雑なものであると言える。よって本研究の提案手法では、ユーザが相手の識別子を入力する作業を省略する必要がある。

3つ目の要件は、一対多でのデジタルコミュニケーションに関するものである。仮に、一対一のデジタルコミュニケーションしか行えない手法を用いる場合を想定する。この手法で多人数とのデジタルコミュニケーションを行う場合、一対一のデジタルコミュニケーションを複数回繰り返す必要がある。よって本研究の提案手法では、一対多のデジタルコミュニケーションを行える必要がある。

4つ目の要件は、離れた相手とのデジタルコミュニケーションに関するものである。仮に、人同士の距離が非常に短い場合にのみ利用できる手法を用いる場合を想定する。この手法で離れた相手とのデジタルコミュニケーションを行う場合、利用可能な距離までお互いが近づく必要がある。よって本研究の提案手法では、離れた相手とデジタルコミュニケーションを行える必要がある。

本研究では、これらの4つの要件を満たす手法を提案し、アプリケーションとしてそれを実装する。実装したアプリケーションを用いることで、本研究の目的であるデジタルコミュニケーション支援を行う。

1.3 本論文の構成

本論文は7章で構成される。第2章では本研究の背景と問題点、既存技術についてまとめる。第3章では本研究が行う解決手法について述べる。第4章では本研究の提案する手法を実現するアプリケーションの設計を行う。第5章では設計に従って実装したアプリ

ケーションの詳細について述べる．第 6 章では本研究の提案手法の評価を行う．第 7 章では結論と今後の課題をまとめる．

第2章 背景

本章ではまず，本研究の背景となる人同士のコミュニケーションモデルについて述べる．さらに，本研究の想定環境を述べ，その際に発生する4つの問題点について述べる．最後に各問題点を整理し，本研究の要件を述べる．

2.1 コミュニケーションモデルの分類と考察

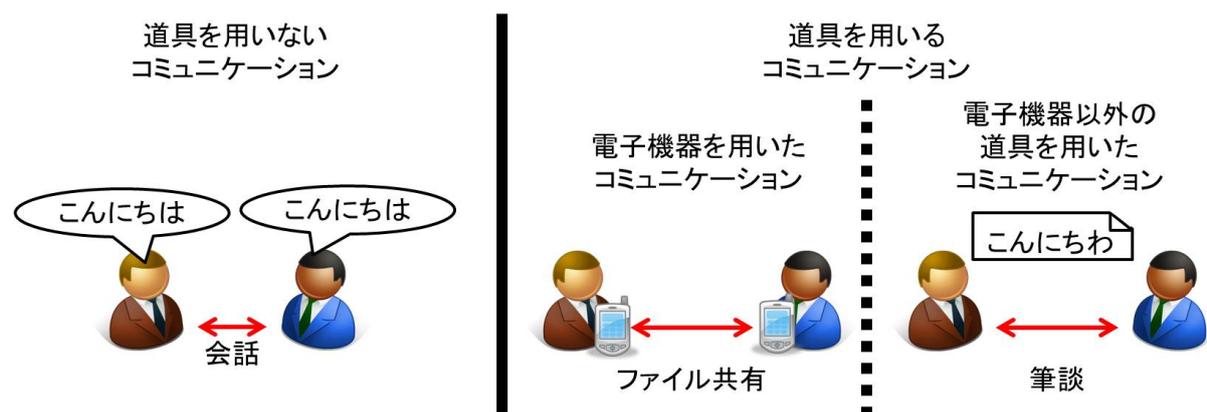


図 2.1: コミュニケーションモデルの分類

本研究では，人同士が行うコミュニケーションを3種類に分類する．図 2.1 は，各コミュニケーションモデルの分類を示す．図中の実線の左側は，道具を用いないコミュニケーションの具体例として，会話を行っている場面を示している．図中の実線の右側は，道具を用いるコミュニケーションを示している．道具を用いるコミュニケーションは，さらに2種類に分割される．図中の点線の左側は，通信機器を用いたコミュニケーションの具体例として，2台の通信機器を用いてファイル共有を行う場面を示している．図中の点線の右側は，通信機器以外の道具を用いたデジタルコミュニケーションの具体例として，筆談を行っている場面を示している．本研究ではこの3種類のモデルのうち，道具を用いないコミュニケーションと，通信機器を用いるデジタルコミュニケーションの違いに着目した．本節ではまず，各コミュニケーションモデルに共通する，開始に必要な2つの要素について述べる．次に，道具を用いないコミュニケーションの詳細を 2.1.1 項で，通信機器を用いるデジタルコミュニケーションの詳細を 2.1.2 項で述べる．

コミュニケーションを開始する為には、人や通信機器が 2 つの要素を決定する作業が必要がある。1 つ目の要素は、コミュニケーションの具体的な手法を指す。具体例としては、会話をする際の使用言語や声の大きさがある。2 つ目の要素は、コミュニケーションを行う相手を指す。具体例としては、IP アドレスやメールアドレスがある。

2.1.1 道具を用いないコミュニケーションのモデル

会話などの、道具を用いないコミュニケーションのモデルについて述べる。道具を用いないコミュニケーションは、同じ部屋にいる場合といった様に、相手を視覚と聴覚で直接識別できるときに行うことができる。距離の大小や遮蔽物の有無によって視聴覚情報が伝達できるかが変化するので、相手との物理的な位置関係は、道具を用いないコミュニケーションにおいて重要な要素である。

道具を用いないコミュニケーションを開始する場合の、コミュニケーションを行う相手を決定する作業について述べる。この場合に決定するの相手とは、自分自身の視覚で相手を識別した情報である。具体的には、相手がいる方角と相手までの距離を識別している。

道具を用いないコミュニケーションを開始する場合の、コミュニケーションの具体的な手法を決定する作業について述べる。この場合に決定する具体的な手法としては、会話に用いる言語や、自分が発する声の大きさがある。まず、会話に用いる言語の要素について述べる。会話によるコミュニケーションを行う時には、自分と相手が理解できる言語を用いる必要がある。次に、自分が発する声の大きさの要素について述べる。相手との距離が離れている場合や、周囲の騒音が大きい場合は、相手に届くように大きな声で会話を行う。逆に、周囲の第三者に聞かれたくない会話を行う場合には、近くにいる相手にだけ聞こえるように小さな声で会話を行う。この 2 ステップの判断を行うことで、道具を用いないコミュニケーションは開始される。

2.1.2 通信機器を用いたデジタルコミュニケーションのモデル

メールやチャットなどの、通信機器を用いたデジタルコミュニケーションのモデルについて述べる。デジタルコミュニケーションは、IP ネットワークや Bluetooth の伝達範囲の中にお互いのユーザが持つ通信機器があるときに行うことができる。通信インフラを用いた接続性によって利用できるか否かが変化する所以、相手との物理的な位置関係は、デジタルコミュニケーションにおいて重要な要素でない。

デジタルコミュニケーションを行う場合の、コミュニケーションの具体的な手法を決定する作業について述べる。この場合に決定する具体的な手法とは、メールや HTTP といったアプリケーションプロトコルを指す。ファイル転送やビデオチャットなど、アプリケーションプロトコル毎に行えるコミュニケーションの内容が異なる。ユーザは行いたいコミュニケーションに合わせて、利用するアプリケーションを決定する。

デジタルコミュニケーションを行う場合の、コミュニケーションを行う相手を決定する作業について述べる。この場合に決定する具体的な手法とは、メールアドレスや SNS の

アカウント名など，実行するデジタルコミュニケーションのアプリケーションプロトコルに対応した相手の識別子を指す．

デジタルコミュニケーションにおいて，コミュニケーションの手法と相手を決定するステップについて述べる．デジタルコミュニケーションにおける決定ステップは，手法と相手のどちらを先に指定するかで 2 種類のモデルがある．1 つ目のモデルは，手法を先に指定するモデルである．具体例としては，ユーザが通信機器内のメールアプリケーションを起動してから宛先に相手のメールアドレスを指定するという作業ステップである．2 つ目のモデルは，相手を先に指定するモデルである．具体例としては，ユーザが通信機器上のアドレス帳から相手を指定して，相手と関連付けられた識別子の一覧からメールアドレスを指定することでメールアプリケーションを起動するという作業ステップである．これらのモデルに従った判断を行うことで，デジタルコミュニケーションは開始される．

2.2 コミュニケーションの拡張

すでに行われているコミュニケーションから新しいコミュニケーションを開始することを，本研究ではコミュニケーションの拡張と呼ぶ．本研究では，コミュニケーションの拡張を行う目的を 2 種類に分類する．1 つ目は，今コミュニケーションしている相手と，別な手段でのコミュニケーションを開始したいという目的である．2 つ目は，新しい相手とのコミュニケーションを開始したいという目的である．本節では，それぞれの目的に合わせたコミュニケーションの拡張ステップについて述べる．

今コミュニケーションしている相手と，別な手段でのコミュニケーションを開始する具体例について述べる．メールを用いてコミュニケーションをしている時に，ビデオチャットを開始したい場合を想定する．メールアプリケーションではビデオチャットを行うことはできないので，ビデオチャットが可能な別のアプリケーションを起動する必要がある．起動するアプリケーションやお互いの識別子の情報を，用いて伝達することでコミュニケーション手段が拡張される．

新しい相手とのコミュニケーションを開始する具体例について述べる．ユーザがメールアドレスを知らない相手 A と，メールによるコミュニケーションを行いたい場合を想定する．この時，まずユーザは相手 A のメールアドレスを入手する必要がある．そのため，既にコミュニケーションを行える別の相手 B から相手 A のメールアドレスを貰う．相手 A のメールアドレスを入手したことで，ユーザは相手 A とのメールによるコミュニケーションを開始することができる．

2.3 本研究がターゲットとする利用シーン

本研究がターゲットとする利用シーンのモデルを，図 2.2 に示す．図の左側は，近距離かつ一対一のデジタルコミュニケーションの例として，写真などのファイル転送を行う場合を示している．図の右側は，遠距離かつ一対多のデジタルコミュニケーションの例として，自分が指定した Web ページに対して複数の相手に通信を行わせる場合を示している．



図 2.2: 本研究が想定する利用シーン

図の両方の例は，2.1.1 項で述べた道具を用いないコミュニケーションの利用条件と，2.1.2 項で述べた通信機器を用いたデジタルコミュニケーションの利用条件を満たしている．

2.4 デジタルコミュニケーション開始時の問題点

本節ではまず，2.3 節で述べた想定環境において発生する 4 つの問題点について述べる．次に，提示した 4 つの問題点をまとめ，本研究の要件として整理する．

2.4.1 会話のみを用いた場合の問題点

本項ではまず，会話からデジタルコミュニケーションを開始する作業について述べる．次に，この作業において発生する 2 つの問題点について述べる．

会話を用いて，デジタルコミュニケーションを開始する作業について述べる．図 2.3 は，会話を用いたデジタルコミュニケーションの開始モデルを示している．本研究では，この作業を 4 ステップに分割する．1 ステップ目は，会話によって実行するアプリケーションを決定する作業である．図 2.3 の例では，ファイル転送を行うためにメールを用いることを決定している．2 ステップ目は，通信機器や外部リソースの識別子を人が知る作業である．図 2.3 の例では，ユーザ A が自分の通信機器から識別子を取得している．ユーザ A が既に識別子を記憶している場合，このステップは省略される．3 ステップ目は，会話によって識別子の情報を伝達する作業である．図 2.3 の例では，ユーザ A からユーザ B へ識別子を伝達している．4 ステップ目は，受け取った相手の識別子を通信機器に入力する作業である．図 2.3 の例では，ユーザ B が自分の通信機器にユーザ A の識別子を入力している．

上記の作業において発生する 2 つの問題点について述べる．1 つ目の問題点は，3 ステップ目である識別子の伝達時に発生する．会話に用いる音声情報は，周囲の騒音や相手との距離によって伝達を失敗することがある．さらに，英単語の綴りや同音異義語といった，同じ音で違う意味を持った情報を伝達することが困難である．会話用いて識別子を確実か

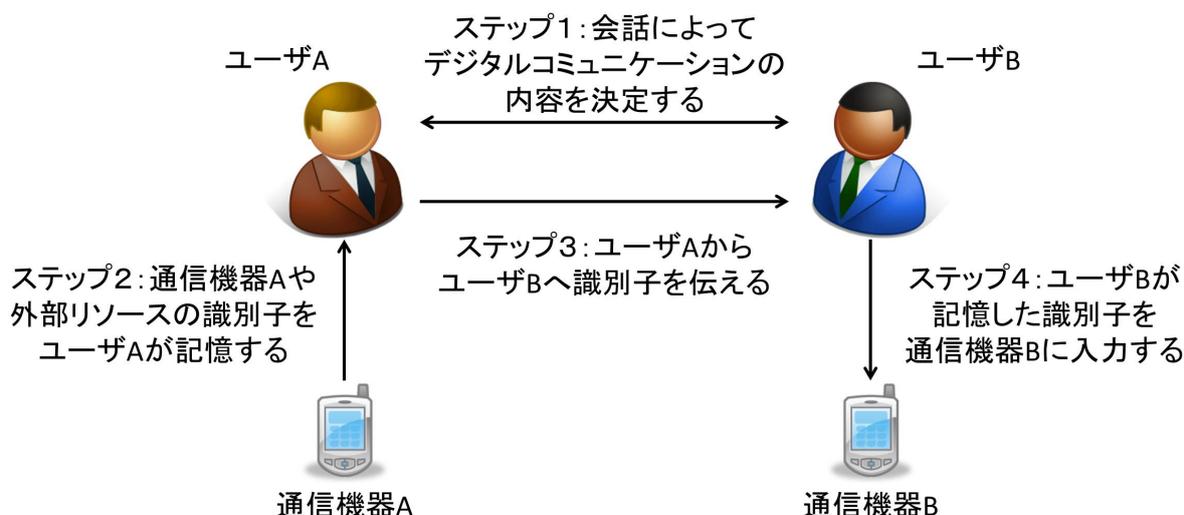


図 2.3: 会話を用いたデジタルコミュニケーション開始モデル

つ正確に伝えるためには、聞く相手に復唱を求めたり単語の綴りなどを一文字ずつ伝える等の、丁寧な伝達手法が必要である。本研究ではこの様な会話による情報伝達の欠陥を、会話からデジタルコミュニケーションへ拡張する際の1つ目の問題点としている。2つ目の問題点は、4ステップ目である識別子の入力時に発生する。会話によって相手の識別子を取得したユーザは、その識別子を通信機器に入力する必要がある。この入力作業は、通信機器上にあるソフトウェアもしくはハードウェアキーボードを用いて行われる。本研究ではこの作業そのものの煩雑さを、会話からデジタルコミュニケーションへ拡張する際の2つ目の問題点としている。

2.4.2 本研究の要件

本項では、本研究の要件について述べる。本研究では、2.3節で述べた本研究が想定する利用シーンと、2.4.1項で述べた問題点を踏まえて、4つの要件を提示した。各要件について以下に述べる。

1つ目の要件は、距離に関する要求である。本研究では、会話ができる場合でのデジタルコミュニケーションを想定している。そのため、握手ができるような1メートル未満の位置関係からテーブルの向かい側や発表会場の部屋全体などの数メートルの位置関係で利用できることを要求する。この時2.3節で述べた想定環境から、ユーザ同士が相手と相手が持つ通信機器を視認できることと、会話ができる大きさの声を出せる状況であることが言える。この状況下で情報伝達を行うには、伝達する情報が相手に届くことと、受信する相手が送信者を向きによって指定できることが要求される。

2つ目の要件は、利用人数に関する要求である。本研究では、一対多でのデジタルコミュニケーションができることを想定する。1つ通信機器を指定する識別子を、複数の相手に

同時に配布することで，一対多でのデジタルコミュニケーションを開始する．具体例としては，1人が持つファイルの配布や多人数から1人へのメール送信などがある．

3つ目の要件は，識別子の伝達手法に関する要求である．文字や数字の配列になっている識別子情報を，失敗することなく伝達できることを要求する．

4つ目の要件は，入力作業に関する要求である．ユーザが，相手の識別子を通信機器のキーボードに入力する作業を，省略することを要求する．

2.5 既存技術の考察

表 2.1: 各手法と本研究の要件との比較

	会話	アプリケーションによる 解決手法	通信方式による 解決手法	
		Bump	FeliCa	IrDA
会話できる距離での利用			×	×
一対多での利用		×	×	
伝達の成否を確認する 作業の省略	×			
識別子を手動で入力する 作業の省略	×			

○：要求を満たしている，△：利用条件によって変化する，×：要求を満たしていない

2.4.2 項を踏まえて，既存技術の考察を行う．表 2.1 は，要求の達成度を会話と既存技術に当てはめた場合の結果である．表 2.1 の横軸は，会話や各既存手法を示している．表 2.1 の縦軸は，2.4.2 項で述べた本研究の要件を示している．本研究では，既存技術を 2 種類に分類した．一つ目は，アプリケーションによって解決する手法である．本研究では，アプリケーションによる解決手法の具体例として Bump を挙げる．Bump と要件の比較については，2.5.1 項で述べる．二つ目は，通信規格による解決手法である．本研究では，通信規格による解決手法の具体例として FeliCa と IrDA を挙げる．FeliCa と要件の比較については 2.5.2 項で，IrDA と要件の比較については 2.5.3 項で述べる．

2.5.1 既存技術：Bump

Bump [1] はユーザ同士の通信機器をぶつけ合うことで互いを通信相手として認識し，Bluetooth 通信を用いたデジタルコミュニケーションを行うアプリケーションである．互いが持つ通信機器をユーザの視覚で識別し，ぶつけ合うという直感的な行為で通信を開始できることから本研究の要求に近い既存技術であると判断した．

Bump が通信相手を指定する仕組みについて述べる．Bump は通信機器に内蔵された加速度センサを用いて，ユーザが行ったぶつけるという動作を検出する．この時，GPS を

用いた位置と時間の情報を Bump 専用の仲介サーバに送信する。Bump の仲介サーバは、受信した位置と時間の情報から近くで同じタイミングでぶつけど相手を見出す。専用サーバを経由して通信機器同士の Bluetooth アドレスと PIN コードの情報を共有することで、通信相手を指定し、機密性のあるデジタルコミュニケーションを開始する。この時、Bump は通信の機密性を保持するために通信相手を 1 人に限定しているため、一対多の通信を行うことが出来ない。

Bump を利用できる位置関係について述べる。Bump は本来、通信機器同士をぶつけどを想定している。しかし、Bump はユーザ同士が直接触れ合えない距離でも利用できる。具体的には、ユーザ同士が声を掛け合って通信機器を叩くことで、加速度センサに衝撃を与えることで達成される。この時 Bump が直接相手を判断するのに用いる加速度センサは、相手の場所を識別していない。しかし、ユーザが会話でタイミングを合わせる際、相手を目と耳で識別している。よって、離れた相手と Bump を用いる場合にも、向きの条件は満たされている。よって、Bump の利用できる位置関係の条件は、会話を行える位置関係であることと Bluetooth の伝達距離内であることの 2 つと言える。Bluetooth が規定する通信距離はクラス毎に異なり、クラス 1 では 100 メートルでクラス 2 では 10 メートル、クラス 3 では 1 メートルとなる。

Bump を利用するために必要な 3 つのハードウェア的な条件について述べる。1 つ目は Bluetooth 1 つ目は加速度センサである。加速度センサは、ユーザのぶつけどという行為を検出するために用いる。2 つ目は IP ネットワークへの接続性である。Bump 専用の仲介サーバと通信をするために、Wi-Fi や携帯端末の通信網を用いた IP ネットワークへの接続性が必要である。3 つ目は GPS 受信器である。仲介サーバが近くにいる相手を見出すために位置情報を用いるからである。

2.5.2 既存技術：FeliCa

FeliCa [2] は、ソニーが開発した非接触型 IC カードの通信方式である。互いが持つ通信機器をユーザの視覚で識別し、近づけるといふ直感的な行為で通信を開始できることから本研究の要求に近い既存技術であると判断した。

FeliCa が通信相手を指定する仕組みについて述べる。FeliCa の通信可能な距離は短く、ユーザの通信機器を近づけるといふ行為によって接近した相手を識別する。さらに通信にセキュリティの機構があり、機密性のあるデジタルコミュニケーションを行うことができる。この時、FeliCa は通信の機密性を保持するために通信相手を 1 人に限定しているため、一対多の通信を行うことが出来ない。

FeliCa を利用できる位置関係について述べる。FeliCa は通信機器の物理的な距離を利用しており、数センチメートルという距離まで近づけることで通信を開始する。よって、FeliCa を利用できる距離は会話よりも短いと言える。

FeliCa を利用するためには、FeliCa チップが通信機器に搭載されている必要がある。

2.5.3 既存技術：IrDA

IrDA [3] は Infrared Data Association が規格化した，赤外線を用いた通信方式である．互いが持つ通信機器の IrDA モジュールをユーザの視覚で識別し，向け合わせるといった直感的な行為で通信を開始できることから本研究の要求に近い既存技術であると判断した．

IrDA が通信相手を指定する仕組みについて述べる．IrDA モジュールから発せられる赤外線には指向性があり，ユーザは赤外線モジュールを向け合わせることで相手を指定できる．赤外線の伝達可能な距離は 8 メートルとされ，さらに 8 台までの機器に対して同時に通信することができる．

IrDA を用いる際の問題点について述べる．IrDA は，IrDA モジュールが赤外線を送受信することによって情報伝達を行う．赤外線を受信する側が送信側を，向きによって指定できることが要求される．この時，受信側の IrDA モジュールが赤外線を受信する範囲内に，送信側の IrDA モジュールが入っている必要がある．IrDA モジュールの受信範囲は実際のハードウェアに依存しており，範囲内にある IrDA モジュールが複数あった場合，それらのうちの通信機器がユーザが意図したものかを選別することができない．よって，複数のグループが独立したデジタルコミュニケーションを行う際に，赤外線による情報伝達が混信してしまうという問題がある．また，8 台以上の通信機器とデジタルコミュニケーションを行えないという問題点もある．

IrDA を利用するためには，IrDA モジュールが通信機器に搭載されている必要がある．多くの場合，通信機器の背面や側面に搭載されている．ユーザは，自分の通信機器に搭載された IrDA モジュールを向け合うことで，デジタルコミュニケーションを開始する．

第3章 アプローチ

本章では、本論文の2.4項で述べた問題点に対するアプローチを述べる。本章ではまず、2.4項で述べた問題点に対する考察を述べる。次に、2.5節で述べた既存の解決手法が抱える問題点の考察を述べる。そこから、本研究のアプローチである、可視光を用いて画像を伝達する手法について述べる。最後に、情報を画像化する技術の一例としてQRコードを挙げ、QRコードを用いた際の伝達能力についての調査結果を述べる。

3.1 要件の再確認

本節では、2.4項で述べた問題点に対する考察を述べる。まず初めに、2.4.2項で述べた要件を再確認する。

1つ目の要件は、位置関係に関する要求である。本研究では、会話ができる場合でのデジタルコミュニケーションを想定している。2.5節で述べたFeliCaとIrDAは、この要求を満たすことができない。要求を満たせない原因は、相手の識別手段に距離の近さを用いていることと、通信距離そのものが短いことである。

2つ目の要件は、利用人数に関する要求である。本研究では、一対多でのデジタルコミュニケーションができることを要求する。2.5節で述べた3つの既存技術はすべて、この要求を満たすことが出来ない。要求を満たせない原因は、通信に機密性を持たせるために通信相手の人数を1人に限定しているからである。

3つ目の要件は、識別子の伝達手法に関する要求である。文字や数字の配列になっている識別子情報を、失敗することなく伝達できることを要求する。会話によって識別子を伝達する場合は、周囲の騒音や綴りの紛らわしさによる失敗の可能性が有り、この要求を満たせない。

4つ目の要件は、入力作業に関する要求である。ユーザが相手の識別子を、通信機器のキーボードに入力する作業を省略することを要求する。会話によってデジタルコミュニケーションを行う場合は、入力作業が省略できずこの要求を満たせない。

2.5項で述べたように、3つ目と4つ目の要求は機械同士が直接通信することで達成される。本研究では、1つ目と2つ目の要求を満たせる機械同士が直接識別子を伝達する手法を提案する。

3.2 位置関係に関する問題への考察

本節では，ユーザ同士の位置関係によって発声する問題について考察する．2.5 節で述べた FeliCa と IrDA は，ユーザ同士が 1 メートル以下という至近距離にいる場合でのみ利用できる．本研究の提案手法は Bump と同様に，会話をできる距離であれば利用できることが要求される．

それぞれの既存手法が，情報伝達のために相手を指定する手法を分類する．視覚を用いた識別からデジタルコミュニケーションを開始する時，最も重要な情報は視覚情報による通信相手の位置である．ユーザが識別した相手とぶついたりセンサを近づけるといった動作を行うことで，デジタルコミュニケーションに用いる識別子を決定している．

位置関係の要件を満たせる情報伝達の媒体は，離れた相手を識別できる視覚情報である．離れた相手と Bump を利用する際には，聴覚情報でぶつけるタイミングを伝達している．本研究では，ユーザが知覚できる視覚情報を用いてデジタルコミュニケーションを開始させる．

3.3 一対多の通信に関する問題への考察

本節では，一対多でのデジタルコミュニケーションを行う際の問題について考察する．2.5 節で述べた 3 つの既存技術すべては，一対一のデジタルコミュニケーションにのみ利用できる．本研究の提案手法は会話と同様に，一対多でのデジタルコミュニケーションが可能であることが要求される．

各既存技術が一対多でのデジタルコミュニケーションを行えない理由は，各既存技術の機能要件に機密性が含まれているからである．通信相手の人数を限定することで，ユーザが意図しない相手との通信を防止している．しかし，本研究が想定する利用シーンでは通信の機密性を要求しない．よって，各既存技術とは異なるアプローチを用いることができる．

通信機器が一対多の通信を行うための手法は，大きく 2 つに分類される．1 つ目の手法は，多重セッションの構築と管理である．一対一の通信を複数行うことで，一対多の通信を実現する．2 つ目の手法は，一方向のみからの通信である．双方向な通信を行わないことで，1 つの情報を不特定多数に配布することを可能にする．会話に用いる声はこの手法に分類される．本研究では，3.2 節で述べた視覚情報を一方向にのみ伝達することで一対多の利用を可能にする．

3.4 可視光を用いた情報伝達

本研究では，2.1 節で挙げた識別子の情報を伝達する為に，可視光を用いた通信に着目した．本節では可視光を用いた通信について述べる．

可視光を用いた情報伝達と，本研究の要求との比較について述べる．可視光の情報を発する発光体は，人が視覚で認識することができる．ユーザが認識した発光体に対してカメ

ラを向けることで、情報を伝達することができる。この相手に向けるという行為は、既存技術のぶつける、近づけるといったものと同様に、ユーザの視覚を用いて直感的に行うことができる。可視光を用いた情報伝達を利用するためには相手の通信機器が視認できる必要がある。2.3 節で述べたように本研究は会話を行える状況を想定しているので、相手の通信機器を視認できるという条件は満たされている。

3.4.1 可視光による情報の符号化手法

可視光を用いて情報伝達を行う際の、情報の符号化要素について述べる。本項ではまず、符号化手法に用いる 3 つの要素を挙げる。次に、それらの要素を用いた 4 種類の符号化手法を述べる。

情報を可視光化する際に用いる 3 つの符号化要素を、次に挙げる。

- 色や光の強弱を利用した符号化手法
- 時間軸を利用した符号化手法
- 配置を利用した符号化手法

本項では、この 3 つの符号化要素の詳細について述べる。

1 つ目の要素は、色や光の強弱を利用したものである。具体的な符号化手法の例としては、電子機器の LED がある。色の種類や発光の強弱を切り替えることで、情報の符号化を行っている。色や光の強弱を利用した符号化手法は、色の種類や光の強弱をより細かく区別することで伝達する情報量を増加させることができる。

2 つ目の要素は、時間軸を利用したものである。具体的な符号化手法の例としては、モールス信号や IEEE 802.15.7 [4] がある。時間軸を利用した符号化手法は、1 つ目の手法である色や光の強弱を用いた符号化の拡張として用いられる。色や光の強弱を時間で切り替えて、そのタイミングを用いて伝達する情報を符号化している。色や光の切り替え周期を一定としたとき、伝達する情報量と伝達にかかる時間が比例するという特徴がある。

3 つ目の要素は、配置を利用したものである。具体的な符号化手法の例としては、配置を利用した符号化手法は、1 つ目の手法である色や光の強弱を用いた符号化の拡張として用いられる。可視光を発する機構を複数ならべて、その状態の組み合わせによって伝達する情報を符号化している。配置を利用した符号化手法は、並べる発光体の数によって伝達できる情報量が変化する。

本項で述べた各要素と、実際の符号化手法の関係を、図 3.1 に示す。図 3.1 の領域①は、色や光の強弱の要素を用いた符号化が行われている領域を示している。この場合の具体例としては、電子機器の充電ランプがある。図 3.1 の領域②は、色や光の強弱と時間軸の要素を用いた符号化が行われている領域を示している。この場合の具体例としては、モールス信号がある。図 3.1 の領域③は、色や光の強弱と配置の要素を用いた符号化が行われている領域を示している。この場合の具体例としては、バーコードがある。図 3.1 の領域④は、本項で挙げた 3 つの要素すべてを用いている領域を示している。この場合の具体例としては、動画がある。

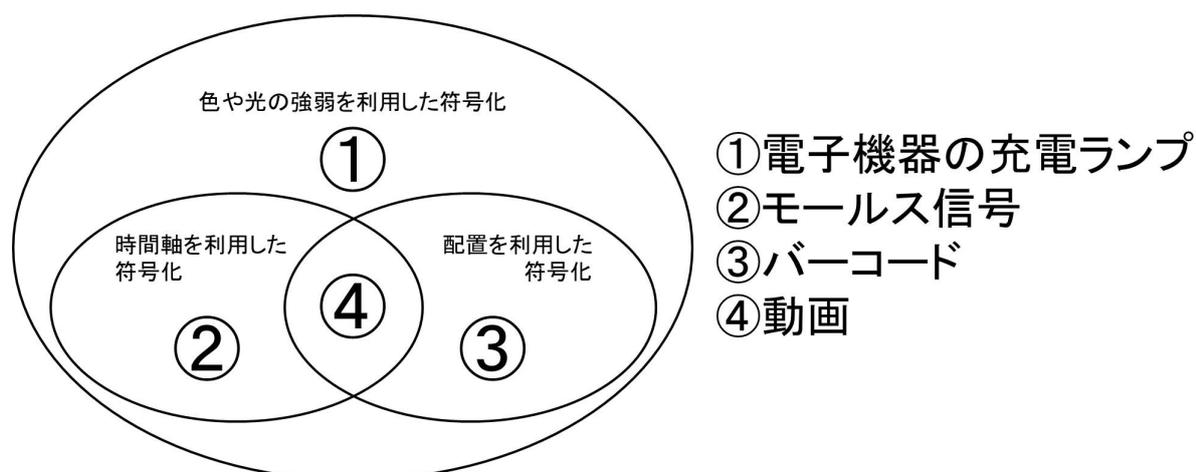


図 3.1: 可視光を用いた情報伝達の符号化手法

3.4.2 通信機器が可視光を発光する手法

表 3.1: 可視光を発することができるハードウェアの比較

	表現できる色数	発光体の数
カメラのフラッシュ	1つ	1個
LED	単色 ~ フルカラー	1 ~ 数個程度
画面	フルカラー	数万 ~ 数十万個

通信機器が可視光を発する手段について述べる。表 3.1 は通信機器に搭載されるハードウェアのうち、可視光を発することができる3つのハードウェアの特性を示している。通信機器に搭載されているハードウェアの中で、可視光を発することができる物にはカメラのフラッシュとLED、画面の3種類がある。本項では、この表 3.1 の詳細について述べる。

1つ目のハードウェアは、カメラに付属したフラッシュである。このフラッシュは、光の強弱と時間軸を利用した情報の符号化を行うことができる。しかし、フラッシュは単一の発光体なため配置を利用した情報の符号化を行うことはできない。

2つ目のハードウェアは、単一もしくは複数の色を発光できるLEDである。LEDは、3.4.1項で述べた3種類の符号化手法すべてを用いることができるさらに、フラッシュと違って表現できる色数が豊富なため、符号化時に情報の密度を上げることができる。LEDは複数個並べることで、配置を利用した情報の符号化を行う事ができる。

3つ目のハードウェアは、画面である。画面は、3.4.1項で述べた3種類の符号化手法すべてを用いることができる。さらに、LEDと同様に表現できる色数が豊富なため、符号化時に情報の密度を上げることができる。画面というハードウェアは、縦横合わせて数万個から数十万個の発光体で構成されている。よって、配置を利用した情報の符号化において、LEDよりも情報密度を高くすることができる。

3.5 提案するデジタルコミュニケーションの開始手法モデル

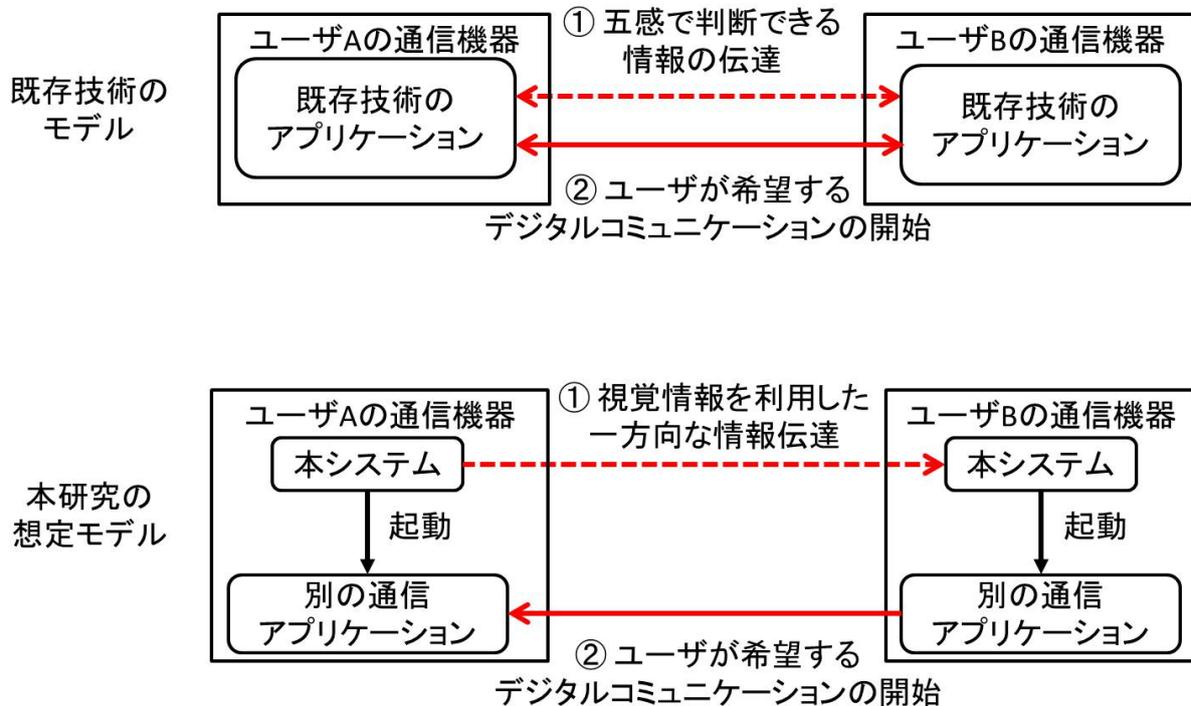


図 3.2: jpg 貼り付けサンプル

2.5 節で述べた既存手法と研究の解決手法のモデルの比較を、図 3.2 に示す。本節では、図 3.2 の詳細を説明するとともに本研究の解決手法のモデルについて述べる。

既存手法の、デジタルコミュニケーション開始手法モデルについて述べる。図 3.2 の上半分は、既存技術が相手を識別してから通信を行うアプリケーションのモデルを示している。2.5 節で挙げた全ての既存技術は、ユーザが希望するデジタルコミュニケーションを実行する部分までの機構が組み込まれている。ファイル転送やビデオチャット等、ユーザが希望するコミュニケーション手段が増えるたびに、既存技術のアプリケーションにその機構を組み込む必要がある。さらに通信するデータの量が不定なため、不定なデータ量を伝達できるハードウェアであることが要求される。

本研究が提案する、デジタルコミュニケーション開始手法モデルについて述べる。図 3.2 の下半分は、本研究が提案する相手を識別してから通信を行うアプリケーションのモデルを示している。2.4 項で述べたような識別子の入力の煩雑な既存の通信アプリケーションを、本システムから識別子をオプション情報として渡すことで、2.4.2 項で述べた入力作業を省略するといった要件を満たす。さらに識別子の情報量はアプリケーションプロトコル毎に決まっているので、可視光による情報伝達のデータ量はある程度予測することができる。

3.6 本研究が用いる可視光の情報伝達手法

本節では 3.4.1 項で述べた 4 種類の符号化手法のうち、どれを利用して識別子の伝達を行うかについて述べる。本節ではまず、4 種類の符号化手法を比較する。次に、本研究の解決手法として用いる符号化手法について述べる。

図 3.1 の領域①で示した、色や光の強弱のみを用いて符号化した伝達手法について述べる。この符号化手法を用いた際のデータ量は、色数と光の強弱の段階の区切り方によって決定する。色の種類や光の強弱をより細かく区別することで伝達する情報量を増加させることができる。しかし、デジタル空間で用いる識別子をこの手法で符号化することは困難と言える。例えば IP バージョン 6 のアドレスを一意に符号化するためには、赤、緑、青の 3 色と光の強弱の 4 軸がそれぞれ約 40 億段階に区別される必要がある。この非常に小刻みに分割した符号化手法は、情報を発信する側も受信する側も困難であると判断した。

図 3.1 の領域②で示した、色や光の強弱と時間軸の要素を用いて符号化した伝達手法について述べる。この符号化手法を用いた際のデータ量は、色数と光の強弱の段階の区切り方によって、さらに切り替えの周期と伝達時間の長さによって決定する。特に、伝達時間の長さを調整することで、伝達するデータ量を無制限に調整できる。よって、この手法を用いてデジタル空間上の識別子を伝達することは可能であるという。

図 3.1 の領域③で示した、色や光の強弱と配置の要素を用いて符号化した伝達手法について述べる。この符号化手法を用いた際のデータ量は、色数と光の強弱の段階の区切り方によって、さらにそれらの情報を表現する発光体の数によって決定する。同一の画面を用いた場合でも、1 つの発光体に用いるピクセル数を変更することでデータ量が変わる。この手法の一例である QR コードを用いた際のデータ量についてを、3.7 節で述べる。

図 3.1 の領域④で示した、3 つの要素すべてを用いて符号化した伝達手法について述べる。色や光の強弱と配置の要素を用いて符号化した伝達手法について述べる。この符号化手法を用いた際のデータ量は、色数と光の強弱の段階の区切り方、切り替えの周期と伝達時間の長さ、さらにそれらの情報を表現する発光体の数によって決定する。この符号化手法は色や光の強弱と時間軸の要素を用いた符号化の拡張であるといえるので、デジタル空間上の識別子を伝達することは可能であるという。

本研究の解決手法として用いる符号化手法について述べる。本研究では、識別子を伝達する際の符号化手法として、色や光の強弱と配置による符号化手法を用いる。色や光の強弱と配置による符号化手法の具体例である QR コードの伝達能力に関する調査を、3.7 節で述べる。

3.7 QR コードの伝達能力

本研究では、バーコードの伝達能力を検証するために、2 次元バーコード規格の 1 つである QR コード [5] についての予備調査を行った。本節ではまず、QR コードが格納できるデータ量を決定するステップについて述べる。次に、現在の携帯電話に搭載されたカメラを用いたときの、QR コードの取得能力について述べる。

3.7.1 データ量を決定する要素

QR コードのデータ量は、バージョン数とモード、誤り訂正レベルによって決定する。本項では、この 3 つの要素について述べる。

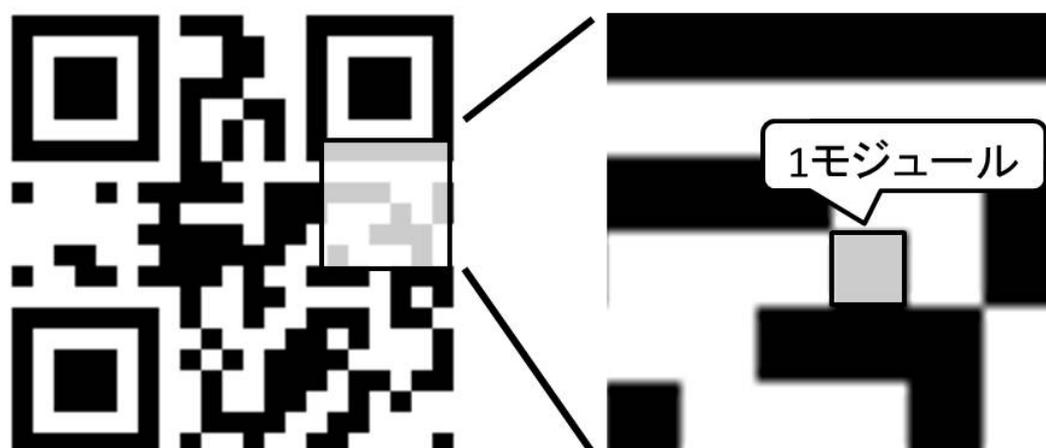


図 3.3: QR コードの拡大図

QR コードのバージョン数について述べる。図 3.3 は QR コードの拡大図を示している。1 ビットの情報を持つ空間をモジュールと呼び、QR コードはこのモジュールを正方形に並べることで構成される。なお、QR コードはこのモジュールの物理的な大きさを定義していない。1 つの QR コードに含むモジュール数はバージョン数によって決められる。QR コードのバージョンを A とし、1 辺に含まれるモジュールの数を B としたとき、その関係は $B = 4A + 17$ で表される。QR コードは 1 から 40 までのバージョン数を持ち、それぞれ格納できるデータサイズが異なる。いくつかの携帯端末キャリアは、推奨する QR コードの最大バージョン数を 10 にしている [6][7]。

表 3.2: QR コードのモード

名称	半角 or 全角	扱う文字	備考	バージョン 10 の 最大文字数
数字	半角のみ	0 ~ 9	最も圧縮効率が良い	652
英数字	半角のみ	0 ~ 9, A ~ Z, 9 種類の記号	数字モードの次に 圧縮効率が良い	395
漢字	全角のみ	漢字と 全角カナ	全角文字を格納するには 最も圧縮効率が良い	167 (全角)
8 ビット バイト	両方	すべての文字	最も圧縮効率が悪い	271
混合	両方	すべての文字	データ列の途中で モードを切り替える	(不定)

QR コードのモードについて述べる。表 3.2 は、QR コードが規定する 5 つのモードの比較を示している。QR コードには数字、英数字、漢字、8 ビットバイト、混合の 5 つの

モードがある．それぞれ扱える文字の種類と数が異なり，同じバージョン数あたりの圧縮率も異なる．さらに，本研究で携帯電話の QR コード取得アプリケーションを調査したところ，8 ビットバイトモードを正しく扱うことが出来ないことが分かった．改行やタブ文字等は正常に処理するが，制御コードに該当するいくつかのバイナリ情報を誤変換することが確認されている．

QR コードの誤り訂正レベルについて述べる．QR コードには，汚れ等で情報の一部が破損してもデータを正確に読み込めるように誤り訂正ビットのデータフィールドがある．誤り訂正のレベルは 7,15,25,30 % の 4 段階あり，訂正能力が高いほど QR コードの損失が大きくても読み込める．また，同じバージョンおよびモードを選択した時，誤り訂正ビットが大きい程，格納できるデータサイズが小さくなる．

3.7.2 携帯電話のカメラによる QR コードの取得能力調査

本項では，現状の携帯電話に搭載されたカメラと取得アプリケーションを用いた場合の，QR コード取得能力を調査した．本研究では読み取り可能な最大バージョン数の調査と，取得可能な距離の調査を行った．本項では，各調査の手法と結果をそれぞれ述べる．

表 3.3: 端末別の QR コード取得のバージョン数限界

名称	画素数，方式	読み取れた最大バージョン	備考
SoftBank iPhone4	500 万画素 CMOS	17	利用するアプリによって違う公式のものは存在しない
SoftBank 830SH	200 万画素 CMOS	30	プリインストールの取得アプリケーション
au W44K	201 万画素 CMOS	20	プリインストールの取得アプリケーション

QR コードの読み取り可能な最大バージョン数の調査について述べる．現在の機種が，近距離でどのバージョンまでを読み取れるかを調査した．表 3.3 は，機種別にテストした中で，特徴的だったものを示している．画素数の優れた iPhone4 よりも，日本国内のメーカー製の携帯電話のほうが大きなバージョン数の QR コードを取得できた．この結果により，QR コードの読み取りの成否を決める要素は，カメラの解像能力だけではなく，取得アプリケーションの実装によっても変化するということがわかる．さらに，読み取りに失敗した場合でも 2 種類の挙動が確認できた．1 つ目は，取得アプリケーションの状態が QR コードを解析するステップに移行しない場合である．アプリケーションが QR コードを判別できないことが，この挙動の原因と推測される．2 つ目は，取得アプリケーションが取得に失敗したことをアラートメッセージで表示する場合である．QR コードの一部を読み取ってバージョン数を識別し，それが閾値以上だったことから取得を諦めたと推測される．



図 3.4: QR コード取得可能距離の調査の様子

次に，QR コードを読み取り可能な距離の調査について述べる．図 3.4 は，本調査を行っている様子を示している．縦幅 26.5cm のモニタにバージョン 1 の QR コードを表示し，どの距離まで離れても撮影できるかを調べた．なお，画面とカメラはどれも垂直な位置関係で行った．

表 3.4: 端末別の QR コード取得の距離限界

機種	画素数，方式	読み取れた最長距離	備考
iPhone4	500 万画素 CMOS	2m	公式のアプリケーションは存在しない
Softbank 830n	320 万画素 CMOS	4m	プリインストールの取得アプリケーション

QR コードの取得距離の調査結果を，表 3.4 に示す．3.7.2 項と同様に，解像度以外の要因が影響したと推測される結果になった．多くの QR コード取得アプリケーションは，近くの QR コードを撮影・取得することを想定している．実際，カメラとしてズーム機能を持っている機種でも，QR コード取得アプリケーションではズームを行うことができなかった．

第4章 設計

本章では，3章で述べた画像を用いた情報伝達によってデジタルコミュニケーションの開始を支援するシステムの設計を行う．

4.1 視覚チャンネルの設計

本研究では，画像によって識別子を伝達する通信路を視覚チャンネルと呼称する．本節では，視覚チャンネルの設計について述べる．

本システムは，3.5節で述べたように識別子を入力が必要な既存の通信アプリケーションの起動を補助する形で2.4.2項で述べた要件を達成させることを目的としている．そのための手段として，2.1節で述べたように可視光を用いて識別子を伝達することを提案した．さらに，3.6節では可視光で伝える具体的な手法としてバーコード状の画像を用いることについて述べた．

本システムの視覚チャンネルは，一台の画面側となる端末と1台もしくは複数台のカメラ側となる端末によって構築される．画面側は，決定した識別子を画像化し，画面に表示することで情報の送信を行う．カメラ側は，カメラによって画像から識別子を取得し，画面側の端末や外部リソースに対して通信を開始する．

本システムでは，視覚チャンネルを用いてURIを伝達する．URIは2つのデータ領域によって構成される，1つは，アプリケーションプロトコルを指すスキームの領域である．もう一つは，識別子となるリソースの場所もしくは名前の領域である．URIを用いることで，デジタルコミュニケーションを開始する際の識別子だけでなく，アプリケーションプロトコルを表現することができる．画面側のユーザが選択したアプリケーションプロトコルと識別子をURI化し視覚チャンネルを用いて伝達することで，カメラ側のユーザが具体的な通信アプリケーションを選択する作業を省略することができる．この省略によって，本研究の目的であるデジタルコミュニケーションの開始作業そのものが簡略化される．

本システムでは，視覚チャンネルが利用する画像化手法としてQRコードを選択する．視覚チャンネルの長所は，情報を発信しているという事象と発信源を人の視覚で認識できることである．QRコードは情報を画像化する手段として，日本国内での認知率が9割以上となっている[8]．認知度の高いQRコードを用いることで，ユーザが視認した時にそれがカメラで撮影するものだという判断を行いやすくする．

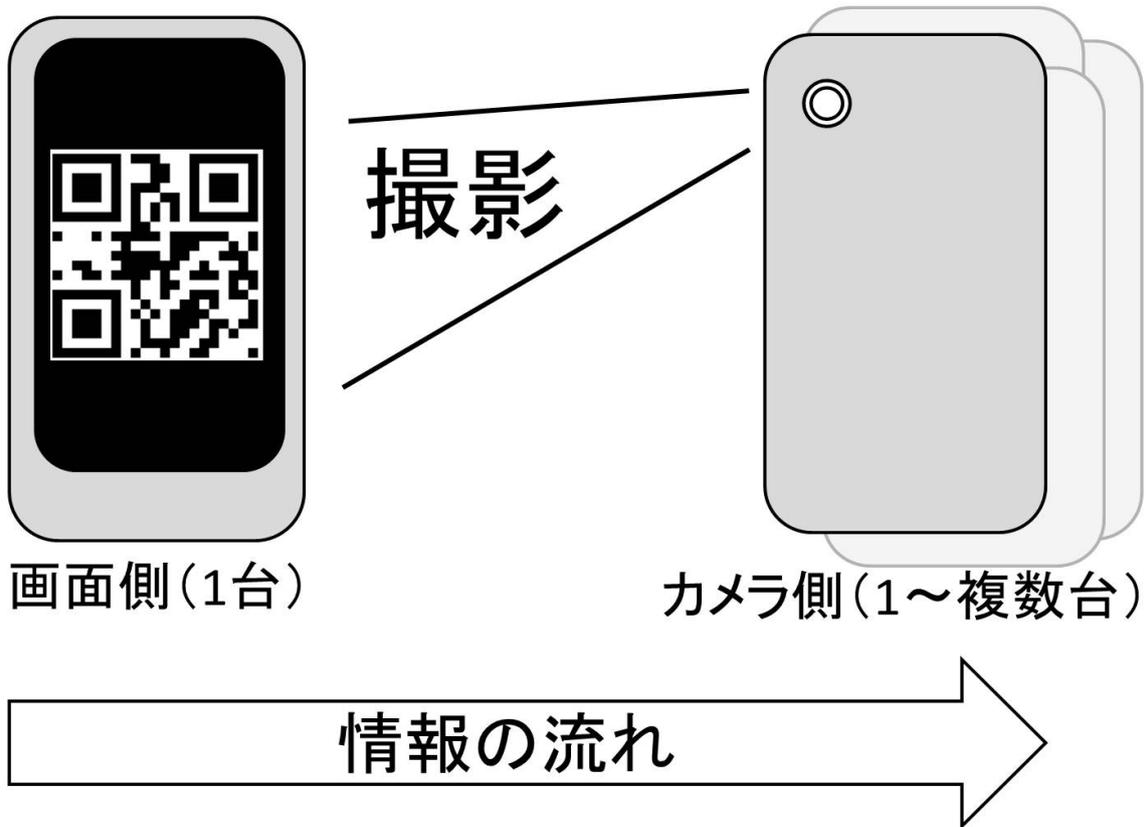


図 4.1: 視覚チャンネルの利用モデル

4.2 システム全体の設計

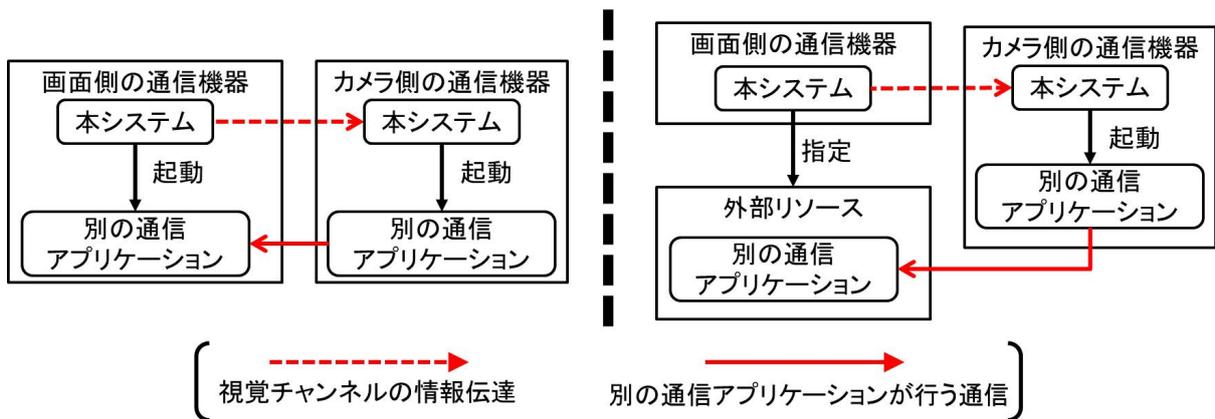


図 4.2: 本システムのデジタルコミュニケーション開始モデル

本システムが想定するの 2 つの動作モデルを，図 4.2 に示す．図の左側は，ユーザがそ

それぞれ持っている通信機器が直接通信を行う場合のモデルを示している．図の右側は，片方の通信機器が指定した外部リソースに対してもう片方の通信機器が通信を開始するモデルを示している．本システムではまず，画面側の通信機器がアプリケーションプロトコルと識別子を決定する．識別子として画面側の通信機器を指定する場合，同時に接続を待機する別の通信アプリケーションを起動する．次に，画面側の通信機器が生成した URI を視覚チャンネルを用いてカメラ側の通信機器に伝達する．カメラ側の通信機器は，取得したスキームに従って別の通信アプリケーションを起動し，指定された識別子が指す外部リソースに対して通信を行う．

4.3 モードの設計

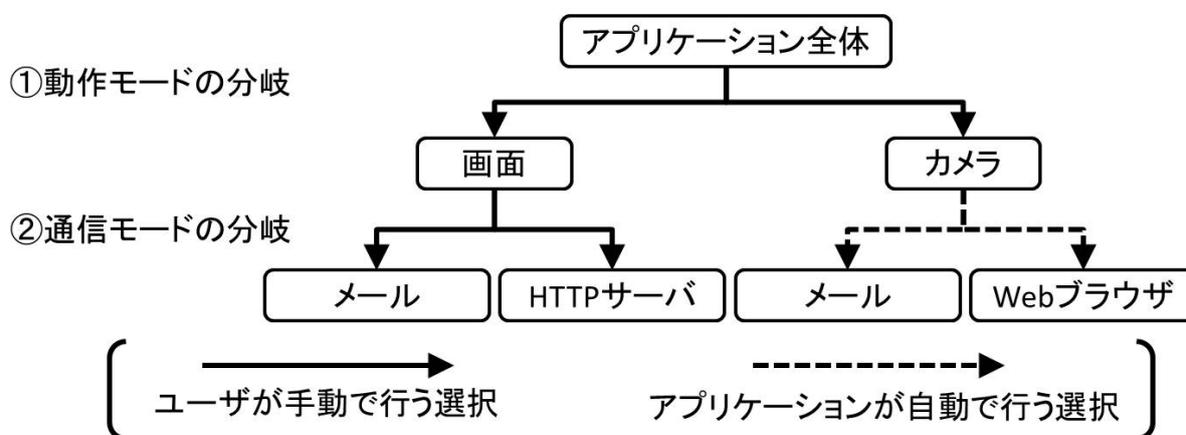


図 4.3: モードの分岐モデル

本システムのモードの分岐モデルを，図 4.3 に示す．本システムが起動すると，ユーザはまず動作モードの選択を行う．動作モードには，画面モードとカメラモードの 2 種類がある．さらに画面モードを選択したユーザのみ，次に通信モードの選択を行う．通信モードの選択とは，ユーザが実際に行うデジタルコミュニケーションの選択である．選択した通信モードによっては，対応する別の通信アプリケーションが要求するオプション情報を入力する必要がある．

本システムでは，デジタルコミュニケーションを行うたびにこれらのモードを選択する必要がある．この選択作業の省略のため，本研究では以下の 2 種類のアプリケーションを実装する．

- 汎用アプリケーション
- 短縮アプリケーション

汎用アプリケーションは，本システムの基幹となるアプリケーションである．視覚チャンネルによる情報伝達と別アプリケーションとの連携の処理は，この汎用アプリケーションが行う．汎用アプリケーションを直接起動した場合，動作モードや通信モードを選択する必要がある．短縮アプリケーションは，汎用アプリケーションのモード選択作業を短縮す

るアプリケーションである。短縮アプリケーションを起動した場合、汎用アプリケーションにオプション情報を与えて起動させる。オプション情報は、汎用アプリケーションで選択するモードを指定している。オプション情報を与えられて起動した汎用アプリケーションは、動作モードと通信モードを選択する作業を省略する。

4.4 汎用アプリケーションの設計の概要

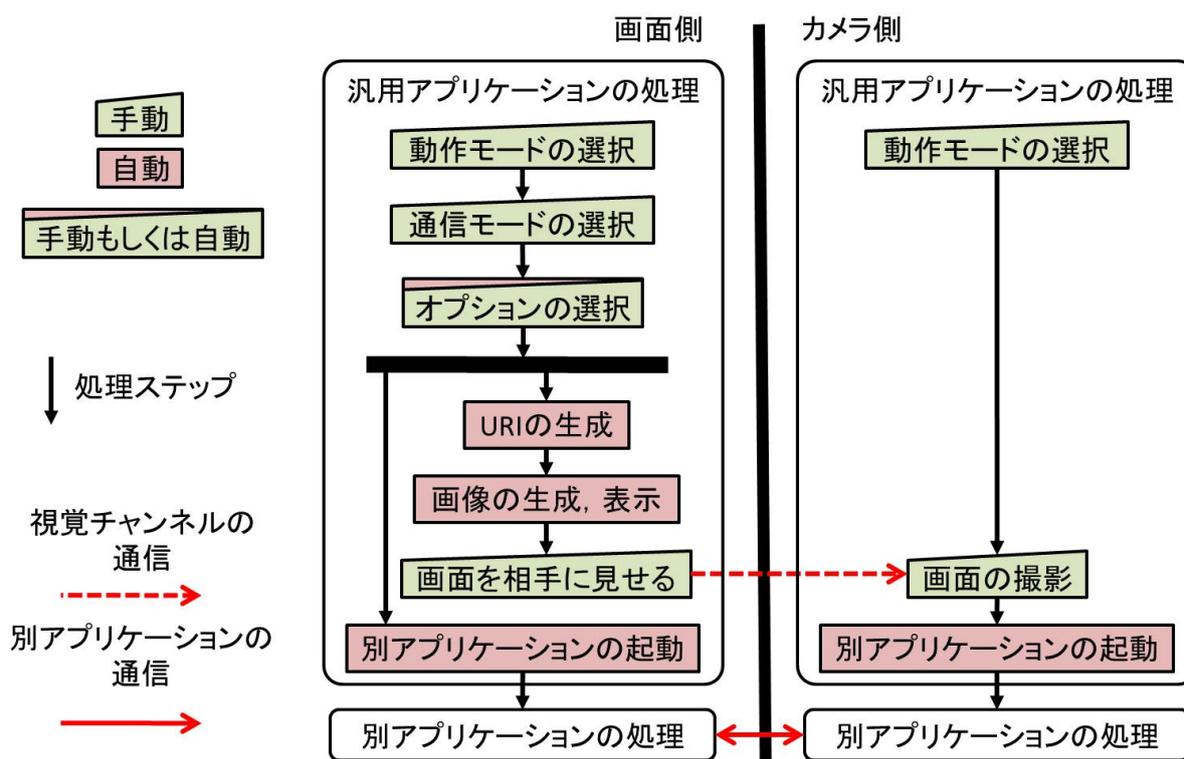


図 4.4: 本システムの動作設計

汎用アプリケーションの動作設計を、図 4.4 に示す。汎用アプリケーションでは、画面側のユーザが指定した通信モードの情報を視覚チャンネルで共有することでデジタルコミュニケーションを開始する。各ステップの設計を次に述べる。

動作モードの選択処理について述べる。汎用アプリケーションは起動時にまず、通信機器の役割を決定する。ユーザは行いたいデジタルコミュニケーションに応じて、画面側かカメラ側かの役割を決定する。短縮アプリケーションから汎用アプリケーションを起動した場合、動作モードの選択作業は省略される。

動作モードで画面モードを選択した場合、次に通信モードの選択を行う。短縮アプリケーションから汎用アプリケーションを起動した場合、通信モードの選択作業は省略される。通信モードを選択するステップの設計について次に述べる。

表 4.1: 通信モードと必要なオプション情報の比較

通信モード	対応するスキーム	必要なオプション情報
自分 (= 画面側) にメールを送る	mailto	なし
誰かにメールを送る	mailto	宛先のメールアドレス
1つのファイルを渡す	http	送信するファイル
Web ページの URL を渡す	http	渡すブックマークのリンク

通信モードとオプション情報の選択について述べる。表 4.1 は、通信モードとそれに対応して必要なオプション情報の比較を示したものである。同一のアプリケーションプロトコルを用いる場合でも、ユーザが希望するデジタルコミュニケーションが異なる場合、汎用アプリケーションは別の通信モードとして扱う。表 4.1 の例では、自分にメールを送らせる場合と誰かにメールを送らせる場合を別の通信モードとして扱っていることを示している。誰かにメールを送るという通信モードは、メールの宛先の部分に汎用性がある代わりにオプション情報として宛先を指定する必要がある。通信モードが要求するオプション情報は、3 種類に分類される。1 つ目は、画面側の通信機器内部で起動する別の通信アプリケーションに渡す起動オプションである。2 つ目は、カメラ側の通信機器内部で起動する、別の通信アプリケーションに渡す起動オプションである。この場合、後述の URL に選択したオプション情報を追加する。3 つ目は、外部リソースの指定である。Web ブラウザのブックマーク等の外部リソースである。指定した外部リソースの識別子は、視覚チャンネルを用いてカメラ側に伝達される。

URI の生成と画像化、表示のステップについて述べる。通信モードとオプション情報を指定した後、画面側の端末は URI を生成する。URI には、通信モードが指定するスキームとカメラ側が通信を行う相手の識別子、通信モードが要求するオプション情報が含まれる。スキームと識別子の組み合わせと、生成する URI の例を以下に示す。

- <http://208.77.188.166:80/>
- <mailto:example@example.com>

上の例では、HTTP プロトコルを用いて指定された IP アドレスとポート番号に対して通信を行うことを指示している。下の例では、指定されたメールアドレスに対してメールを送信することを指示している。生成された URI は QR コード形式で画像化され、画面側の通信機器の画面に表示される。画面側のユーザは、QR コードの表示された画面を相手に見せることで視覚チャンネルを利用した URI の送信を行う。

動作モードでカメラモードを選択した後の処理について述べる。カメラモードを指定すると、通信機器に内蔵されたカメラから QR コードの取得を試み始める。QR コードの取得が成功し、URI を取得できた時点でカメラの撮影は終了する。

カメラモードで URI を取得すると、次に URI からスキームの情報を取得する。カメラ側の汎用アプリケーションは、スキームに対応した別の通信アプリケーションに対して、URI そのものやリソース部分をオプション情報として与えて起動させる。起動された通信アプリケーションは、既に通信相手の識別子が決定された状態なので自動的にデジタルコミュニケーションを開始できる。

第5章 実装

本章では，4章で述べた設計をもとに，目の前にいる相手とのデジタルコミュニケーションの開始を支援するシステムの詳細について述べる．本システムの実装環境を表 5.1 に示す．

表 5.1: 実装環境

言語	JAVA
OS	Android 1.6
開発環境 (IDE)	Eclipse Java EE IDE for Web Developers.

本システムでは，ライブラリとして ZXing [9] を利用した．ZXing は，1次元および2次元バーコードのエンコードやデコードをサポートするオープンソースの Java ライブラリである．

5.1 システム全体の概要

図 5.1 は，本システムの状態遷移を Android 端末のスクリーンショットを用いて示している．図 5.1 の①は，本論文で実装したアプリケーションを起動する前の画面を示している．本論文で実装した各アプリケーションの概要は，5.2 節で述べる．図 5.1 の②は，汎用アプリケーションで動作モードを選択する画面を示している．動作モードを選択する部分の実装については，5.3 節で述べる．図 5.1 の③は，画面モード内で通信モードを選択する画面を示している．通信モードを選択する部分の実装については，5.3.1 項で述べる．図 5.1 の④は，通信モードを選択した後にオプション情報を決定する画面を示している．オプション情報を決定する部分の実装については，5.4 節で述べる．図 5.1 の⑤は，疑似 HTTP サーバを起動し，そこに接続するための URL を QR コード化して表示した画面を示している．疑似 HTTP サーバの起動と URL の生成，QR コード化と表示する部分の実装については，5.3.1 項で述べる．図 5.1 の⑥は，カメラモードで QR コードを撮影している画面を示している．カメラモードで QR コードを撮影する部分の実装については，5.3.2 項で述べる．図 5.1 の⑦は，外部アプリケーションによるファイル受信を行われた画面を示している．外部アプリケーションによるファイルの受信については，5.4 節で述べる．

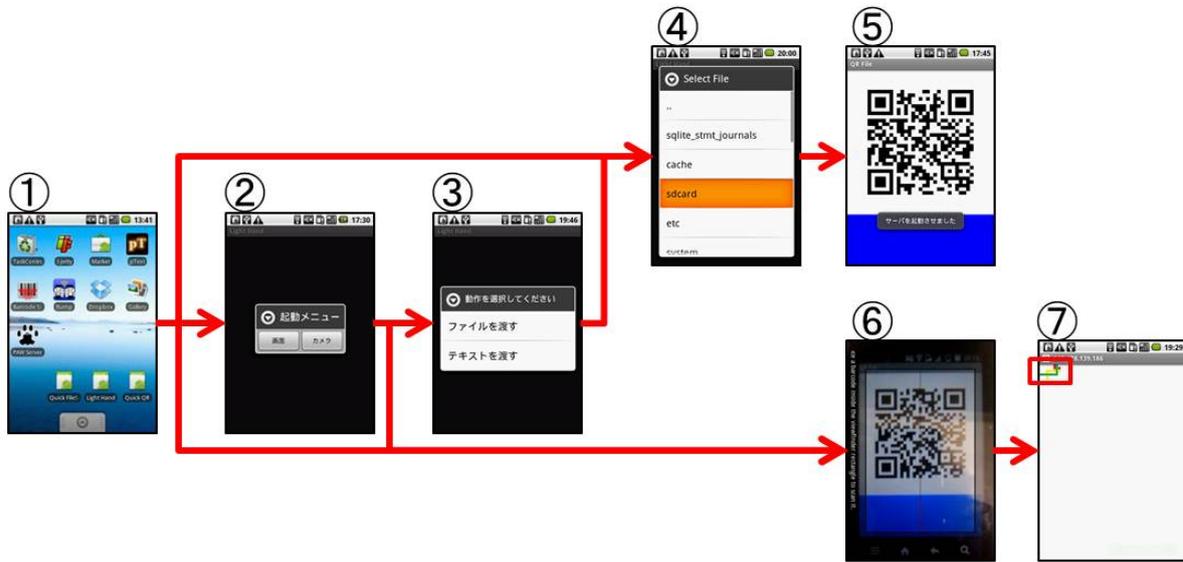


図 5.1: 画面の遷移関係

5.2 実装したアプリケーションの概要



図 5.2: アプリケーション起動前の画面

本論文で実装したアプリケーションの概要を述べる．図 5.2 は，本論文で実装した 3 つのアプリケーションを示している．図 5.2 は，図 5.1 の①を拡大したものである．図 5.2 の左側にあるアイコンは，画面モードでかつファイル転送を指定する短縮アプリケーションの起動アイコンである．図 5.2 の中央にあるアイコンは，本システムを中心となる汎用アプリケーションの起動アイコンである．図 5.2 の右側にあるアイコンは，カメラモード

を指定する短縮アプリケーションの起動アイコンである。

汎用アプリケーションの起動アイコンを直接選択した場合、汎用アプリケーションにオプション情報を渡さずに起動する。起動後に、ユーザは 4.3 節で述べた動作モードや通信モードを指定する必要がある。各モードに対応した短縮アプリケーションを起動した場合、汎用アプリケーションにオプション情報を与えて起動する。起動後の各モードを選択する作業は、与えられたオプション情報によって省略される。

5.3 汎用アプリケーションの動作概要

本システムを中心となる、汎用アプリケーションの実装について述べる。本節ではまず、動作モードを選択する部分の実装について述べる。次に、画面モードの動作についてを 5.3.1 項で、カメラモードの動作についてを 5.3.2 項で述べる。



図 5.3: 動作モードの選択画面

動作モードを指定する部分の実装について述べる。図 5.3 は、図 5.1 の②を拡大したものである。図 5.3 は、動作モードをユーザに選択させる画面を示している。

汎用アプリケーションを直接起動すると、まず初めに動作モードを選択するダイアログが表示される。ユーザは自分の希望するデジタルコミュニケーションに合わせて、画面側かカメラ側かの役割を選択する。短縮アプリケーションから汎用アプリケーションを起動した場合、このステップは省略される。

5.3.1 画面モードの動作

画面モードを選択した後の動作について述べる。図 5.4 は、図 5.4 は、通信モードをユーザに選択させる画面を示している。図 5.4 は、図 5.1 の③を拡大したものである。



図 5.4: 通信モードの選択画面



図 5.5: 画面モードで表示された QR コード

画面側のユーザは、実行したいデジタルコミュニケーションに適した通信モードを選択する。通信モード項目を決定した時点で、カメラ側に実行させる通信のスキームが決定する。画面側の通信機器が通信を行う場合、同時に画面側で起動させる外部アプリケーションが決定する。

通信モードが決定した後、決定した通信モード毎に異なるオプション情報を決定する。このオプション情報は、識別子や外部アプリケーションの起動オプションに用いられる。外部アプリケーションが要求する起動オプションの有無や種類は、汎用アプリケーション内部にリスト化されている。実際に外部アプリケーションの起動オプションを決定する動作については、5.4 節で述べる。

スキームと識別子の情報が決定すると、汎用アプリケーションはそれらを合わせて URI を生成する。この URI を QR コード化し、視覚チャンネルで渡すことでカメラ側にスキームと識別子を伝達する。画面モードで QR コードが表示されている画面を、図 5.5 に示す。図 5.5 は、図 5.1 の⑤を拡大したものである。

5.3.2 カメラモードの動作

カメラモードの動作について述べる。図 5.6 は、カメラ側の通信機器で画面側の QR コードを撮影している時の画像である。図 5.6 は、図 5.1 の⑥を拡大したものである。

カメラモードでは、画面側の通信機器に表示された QR コードを撮影する。QR コードを撮影しデコードすることで、カメラ側の通信機器は URI の情報を取得する。汎用アプリケーションは URI を取得すると、まずスキーム情報を抽出する。汎用アプリケーション内部には、スキームと外部アプリケーションの対応リストがあり、このリストに従って外部アプリケーションを起動する。この対応リストには、外部アプリケーションが要求する起動オプションの形式も含まれている。URI そのものや URI から抽出したリソースもしくは名前といった、通信相手を指す識別子を外部アプリケーションの起動オプションに与える。



図 5.6: QR コードを撮影している画面

5.4 外部アプリケーションについて



図 5.7: 転送するファイルの選択画面



図 5.8: ファイルを受信したカメラ側の画面

本システムが最終的に起動する外部アプリケーションの例として、画面側の端末内にあるファイルをカメラ側に転送するサーバアプリケーションを実装した。このアプリケーションは本システムから呼び出され、画面側とカメラ側で HTTP プロトコルを用いた通信を行う。

ファイル転送アプリケーションが要求する、オプション情報を入力する動作の実装について述べる。5.3.1 節で述べた通信モードの選択でファイル転送を指定すると、ファイル転送アプリケーションに必要なオプション情報として、画面側の通信機器内にある 1 つのファイルの絶対パスが要求される。汎用アプリケーションからユーザがファイルを指定することで、ファイル転送アプリケーションにファイルの絶対パスを渡して起動する。

図 5.7 は、汎用アプリケーションが転送するファイルを選択する画面である。図 5.7 は、図 5.1 の④を拡大したものである。

ファイル転送アプリケーションを選択した場合に、汎用アプリケーションが生成する URI について述べる。5.3.1 節で述べた通信モードの選択でファイル転送を指定すると、オプション指定で選択したファイルの絶対パスを無視して、HTTP スキームと IP アドレス、ポート番号のみを含めた URI を生成する。この URI を取得したカメラ側の汎用アプリケーションは、指定された IP アドレスとポート番号に対して、HTTP プロトコルでルートディレクトリを要求する。

起動したファイル転送アプリケーションの動作について述べる。本アプリケーションは起動後に、画面側の通信機器内で疑似的な HTTP サーバとして動作する。この疑似サーバは、汎用アプリケーションを終了するまで、HTTP クライアントの通信を待機する。

表 5.2: 疑似 HTTP サーバの返答ルール

クライアントが要求するファイルやディレクトリ	GET メッセージのパス指定部分	対応する疑似サーバの挙動
ルートディレクトリ	/	指定したファイルを要求する様にリダイレクト要求を送信
指定したファイル	/example.txt 例	指定されたファイルのデータを送信
それ以外	(それ以外のパス)	404 エラーを送信

HTTP クライアントが通信を行ってきた場合の、疑似サーバの挙動について述べる。表 5.2 は、クライアントの要求と疑似サーバの返答の対応関係を示している。HTTP クライアントがルートディレクトリパスとして指定した場合、疑似サーバはリダイレクト要求を返答する。このリダイレクト要求は、ルートディレクトリ直下にある選択したファイルを要求するように指定している。指定されたファイルがパスとして指定された場合、疑似サーバからファイルのデータ部分を送信する。それ以外のパスが指定された場合は、疑似サーバはファイルが存在しないことを示す 404 エラーを送信する。このような 2 ステップの HTTP 通信を行うことで、選択したファイル名が非常に長い場合でも視覚チャンネルで伝達する URI の文字数を一定に保つ。

カメラ側の通信機器がファイルを受信する動作について述べる。汎用アプリケーションを用いて視覚チャンネルから URI を取得すると、まず汎用アプリケーションはスキームを識別する。スキームが HTTP の場合、汎用アプリケーションは通信機器内の Web ブラウザを起動する。この起動時に、オプションとして取得した URI を渡すことで、Web ブラウザが自動的に通信を開始する。サーバに接続を開始した後の動作は、ファイルの種類や Web ブラウザの実装依存している。図 5.8 は、画像ファイルを受信したカメラ側の通信機器の画面である。図 5.8 は、図 5.1 の⑦を拡大したものである。

第6章 評価

本章では，本研究の提案手法に対する評価を行う．本評価は，同じ場所にいる人同士がデジタルコミュニケーションを開始する場合を想定し，会話や既存手法，本手法を用いた場合の比較を行う．

本評価ではまず，各手法を用いた際に，情報伝達の受信側が持つ指向性の強弱や有無を比較した．それを踏まえて，本研究の要件と各手法を比較する評価を行った．最後に，実装したアプリケーションがユーザに要求する操作回数を比較した．

本評価によって，本手法が 2.4.2 節で述べた 4 つの要件のうち 3 つを満たし，1 つを条件付きで満たすことが分かった．さらに，条件付きで満たすと判断された利用距離に関する要件も，通信機器内のカメラが技術的に成長することで今後条件が緩和されると評価した．

6.1 指向性による比較

本節では，会話や既存手法と本研究の提案手法を，情報伝達の指向性という観点から比較して評価する．

本評価では，情報伝達における受信側が持つ指向性の有無や強弱について評価する．この受信側が持つ指向性とは，受信側が送信側を向きによって指定する性質を指している．離れた場所にいる送信側を指定するためには，この指向性が要求される．

表 6.1: 情報を受信する際の指向性の強弱

	受信者が送信側を 特定する機構	指向性の強弱
会話	目と耳	強い
Bump	目と耳	強い
FeliCa	FeliCa チップ	無し
IrDA	IrDA モジュール	弱い
本手法	カメラと目	強い

表 6.1 は，各手法における受信側が持つ指向性の強弱を示している．表 6.1 は，会話と Bump，本手法が強い指向性を持つことと，IrDA が弱い指向性を持つこと，FeliCa が指向性を持たないことを示している．各手法に対する評価の根拠を，以下に述べる．

会話で情報伝達を行う際に、強い指向性があると評価した根拠について述べる。会話を行う際には、相手を目と耳を用いて識別している。特に、目を用いた相手の識別は強い指向性を持つと言える。これは、弱い指向性を持つ視界全体の中から、相手を指定することができるからである。

Bump を用いて情報伝達を行う際に、強い指向性があると評価した根拠について述べる。Bump を用いて離れた通信相手を検出する場合、ユーザ同士が掛け声を掛け合って通信機器を叩くことによって、加速度センサに衝撃を与える。加速度センサそのものには指向性が無いが、叩くタイミングを同期しているユーザ同士の会話には指向性がある。よって、Bump を利用する際には指向性があると言える。

FeliCa を用いて情報伝達を行う際に、指向性がないと評価した根拠について述べる。FeliCa は、FeliCa チップが発する電波が届く距離の短さによってのみ、通信相手を識別している。これは、通信機器同士を触れ合わせる距離に近づける行為が、ユーザの判断によって行われたものとしているからである。この時、相手の位置は距離によってのみ識別され、向きによる識別は行われない。よって、離れた相手を指定するための指向性を持たないと言える。

IrDA を用いて情報伝達を行う際に、弱い指向性があると評価した根拠について述べる。IrDA は、IrDA モジュールが赤外線を送受信することによって情報伝達を行う。赤外線を受信する側が送信側を、向きによって指定できることが要求される。この時、受信側の IrDA モジュールが赤外線を受信する範囲内に、送信側の IrDA モジュールが入っている必要がある。IrDA モジュールの受信範囲は実際のハードウェアに依存しており、範囲内にある IrDA モジュールが複数あった場合、それらのうちどれがユーザが意図したのかわを選別することができない。よって、本評価では IrDA が弱い指向性を持つと評価した。

本手法を用いて情報伝達を行う際に、強い指向性があると評価した根拠について述べる。本手法を用いる際には、画像を撮影するカメラが画面を、向きによって指定できることが要求される。この時、カメラが認識している視野の中に画面が入っている必要がある。カメラが認識している視野全体は、IrDA と同じ弱い指向性を持つ。カメラが認識した視野は受信側の画面に表示され、ユーザは現在カメラが認識している視野を把握することができる。本手法を用いる際、表示された画面の中央にユーザが指定したい画面を合わせることで、送信者の決定を行う。この行為は、視野内に複数の画像がある場合でも、ユーザが意図した相手を指定できるので、強い指向性があると言える。

6.2 可視光を用いた情報伝達手法に対する評価

本節では、IP アドレスやメールアドレスといったデジタル空間で相手を特定する識別子を、可視光を用いて伝達する手法に対する比較評価を行う。表 6.2 は、本評価の内容と結果を示している。表 6.2 は、2.5 項で挙げた既存の情報伝達の手法を要求の達成度を評価した表 2.1 に対して、本研究の提案手法を追加したものである。以下に本研究の結果の根拠について述べる。

1 つ目の要件である、会話を行える距離での利用について述べる。本手法は、可視光を

表 6.2: 可視光を用いた情報伝達手法の比較評価

	会話	Bump	FeliCa	IrDA	本手法
伝達相手の位置を 識別する機構	目と耳	目と耳	FeliCa チップ	IrDA モジュール	カメラと目
会話できる距離での利用			×	×	
一対多での利用		×	×		
伝達の成否を確認する 作業の省略	×				
識別子を手動で入力する 作業の省略	×				

：要求を満たしている， ：利用条件によって変化する， ×：要求を満たしていない

用いて情報の伝達を行っている．2.4.2 項で述べたように，本研究では会話を行える状況では常に相手の通信機器は視認できるものしている．視認できる離れた相手と情報伝達を行うためには，受信側のユーザが送信者を向きによって指定できることと，発信された情報が届くことが要求される．本評価において，本手法は離れた相手との情報伝達が可能であると結論づけた．向きによる送信者の指定は，カメラを通してユーザの視覚を用いて行うことができる．伝達が可能な距離についての考察は 6.3 項で述べる．

2 つ目の要件である，一対多での利用について述べる．本手法では，可視光による一方向な情報伝達を提案した．一つの通信機器が持つ発光体に対して複数の通信機器がカメラを向けることで，一対多での情報伝達を可能にする．

3 つ目の要件である伝達の可否を確認する作業の省略と，4 つ目の要件である識別子を手動で入力する作業の省略は 2.5 節で述べた既存手法と同様に満たされている．これは，本手法が既存手法と同様に機械同士が情報伝達を直接行っているからである．

6.3 画像化による情報の符号化に対する評価

本節では，可視光を用いて情報伝達を行う手法のうち，色と配置を用いた符号化に対する評価を行う．

本システムで用いた外部アプリケーションは，IP アドレスとポート番号によって相手を指定し HTTP プロトコルを用いた通信を行う．この時の QR コードに格納する URI の長さや QR コードのバージョン数は，IP バージョン 4 の場合には 29 文字でバージョン 2 の QR コードに，IP バージョン 6 の場合には 55 文字でバージョン 3 の QR コードになる．これらは両方とも，携帯端末が推奨するバージョン 10 未満の QR コードであることを満たしている．

さらに，本研究では 3.7 節で QR コードを読み取れる距離についての調査を行った．その結果，離れた距離で利用する場合には，ある程度の発光体の大きさとカメラの取得能力

が要求されることが分かった．携帯端末などの発光体の物理的な大きさは，今後も大きく変化しないと予測される．しかし，カメラの取得能力の成長はより高画質の写真撮影などの需要がある為期待できる．よって，本研究の提案手法が可能とする伝達距離は今後さらに長くなることが期待される．

6.4 ユーザの作業回数に関する評価

会話や既存手法，さらに本研究の提案手法がデジタルコミュニケーションを開始する場合のステップ数を評価する．本評価の想定環境とステップ数の数え方についてを 6.4.1 項で，評価の結果を 6.4.2 項で述べる．

6.4.1 想定環境と作業回数の数え方

本評価の想定環境について述べる．2人のユーザ同士が1メートル未満の位置関係にいるときに，デジタルコミュニケーションを開始する場合を想定する．この1メートル未満というのは，握手ができる程度の位置関係として定義する．ユーザ同士が直接行う会話のコミュニケーションによって，これから行うデジタルコミュニケーションの内容を把握している．さらにそれらユーザの判断内容が，通信機器にまだ入力されていない状況であることを定義する．この想定環境下で，デジタルコミュニケーションを開始するまでに必要なユーザが行う作業の回数を数え，会話や既存技術と本手法を比較する．

次に，本評価が想定する具体的なデジタルコミュニケーションの内容について述べる．本評価では，5.4 節で述べたファイル転送を行うことを想定する．このアプリケーションが通信を開始するためには，通信機器内でアプリケーションと通信相手の識別子を決定する必要がある．本評価におけるアプリケーションの決定は，通信を行うすべての通信機器が行う必要がある．本評価における識別子の決定は，2台の通信機器のうち一方もしくは両方がこの作業を行う必要がある．

本評価で行う，ユーザが行う作業回数の数え方について述べる．本評価のカウント手法のモデルを，図 6.1 に示す．図 6.1 の左右はそれぞれ，合計で3回とカウントされる場合と4回とカウントされる場合の例を示している．本評価では，一方もしくは両方のユーザが行動する度に作業回数を1つ増やす．会話や本手法の視覚チャンネルで情報を伝達する行為がその具体例である．デジタルコミュニケーションを開始する場合，両方のユーザが共同で行う作業と独立して行う作業がある．本評価では，共同で行う作業を1回と数える．図 6.1 の共同作業 AB-1 と共同作業 CD-1 が，共同作業の具体例である．共同作業の関係は，横向きの矢印で示している．さらに，並行して行える独立した2つの作業も1回と数える．図 6.1 の作業 A-1 と B-1，A-2 と B-2，C-1 と C-2 が並行して行われる独立した作業の具体例である．図 6.1 の作業 D-2 は，並行して行うユーザ C の作業がないので，単体で1回と数えられる．本評価では識別子の伝達，入力作業を同じ1回の作業として数える．これは，Bump のぶつけるといった作業や本手法において画面とカメラを向き合わせる作業の煩雑さを，数値的に比較することが困難だからである．

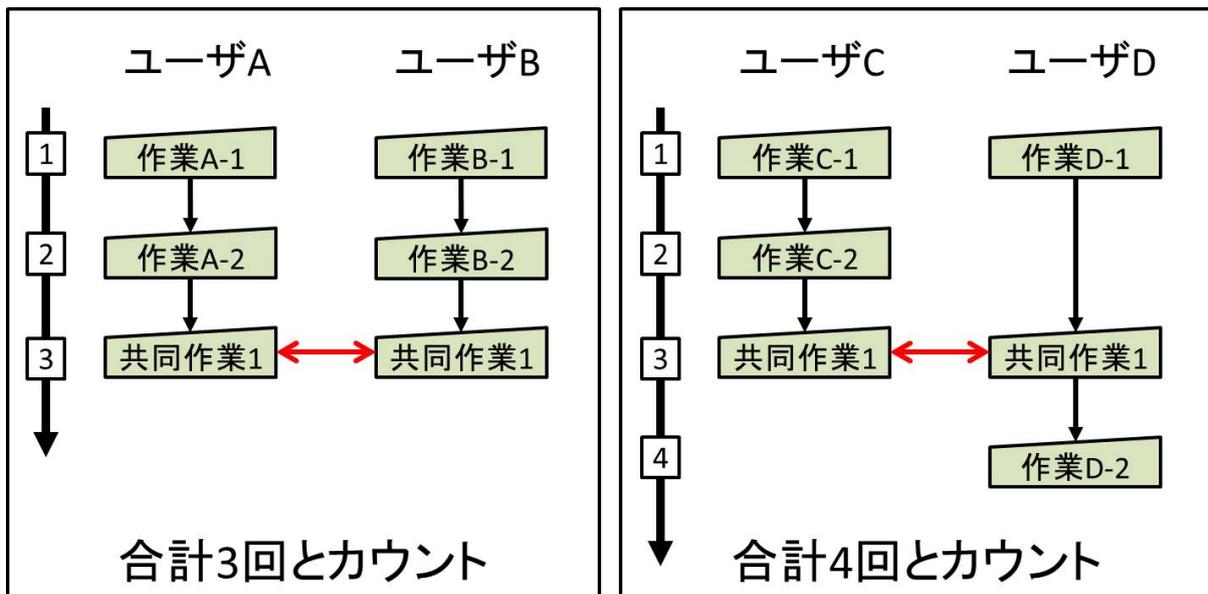


図 6.1: ユーザが行う作業回数のカウント例

6.4.2 評価と比較の結果

評価の結果，本手法は会話や既存手法と同等のステップ数でデジタルコミュニケーションを開始できることが分かった．本項では，各手法の具体的な評価結果を述べる．

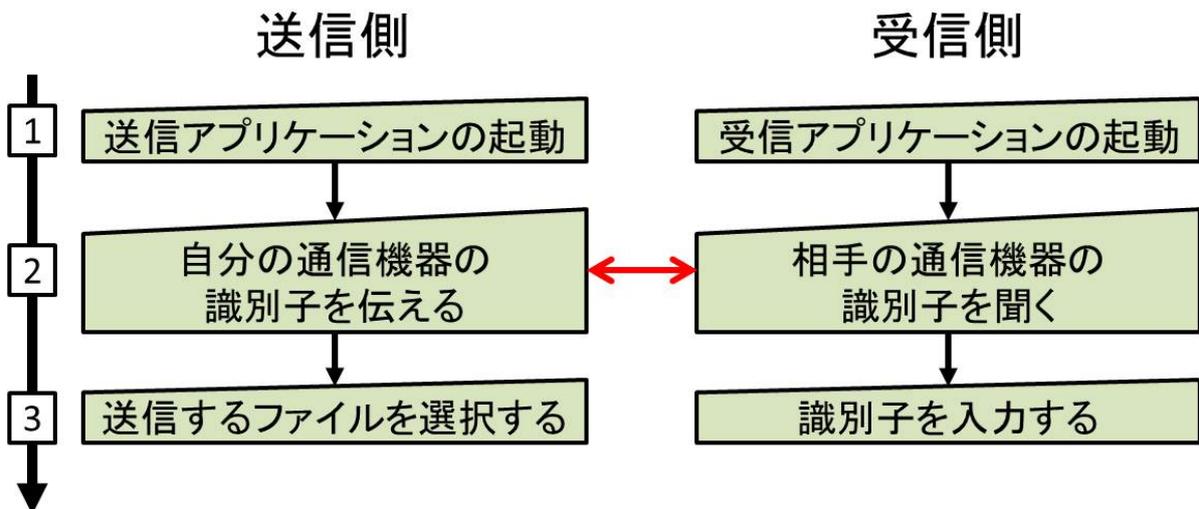


図 6.2: 開始ステップ数：会話

会話だけでデジタルコミュニケーションを開始する場合の作業回数について述べる．図 6.2 は，会話だけでデジタルコミュニケーションを開始する際の作業モデルを示している．送信側がファイルを指定し，受信側が識別子を入力した時点でファイル転送が開始さ

れる．送信側の通信機器の識別子を先に伝え，ファイルの選択と識別子の入力を同時に行うことで全体の作業回数を 3 回にすることができる．

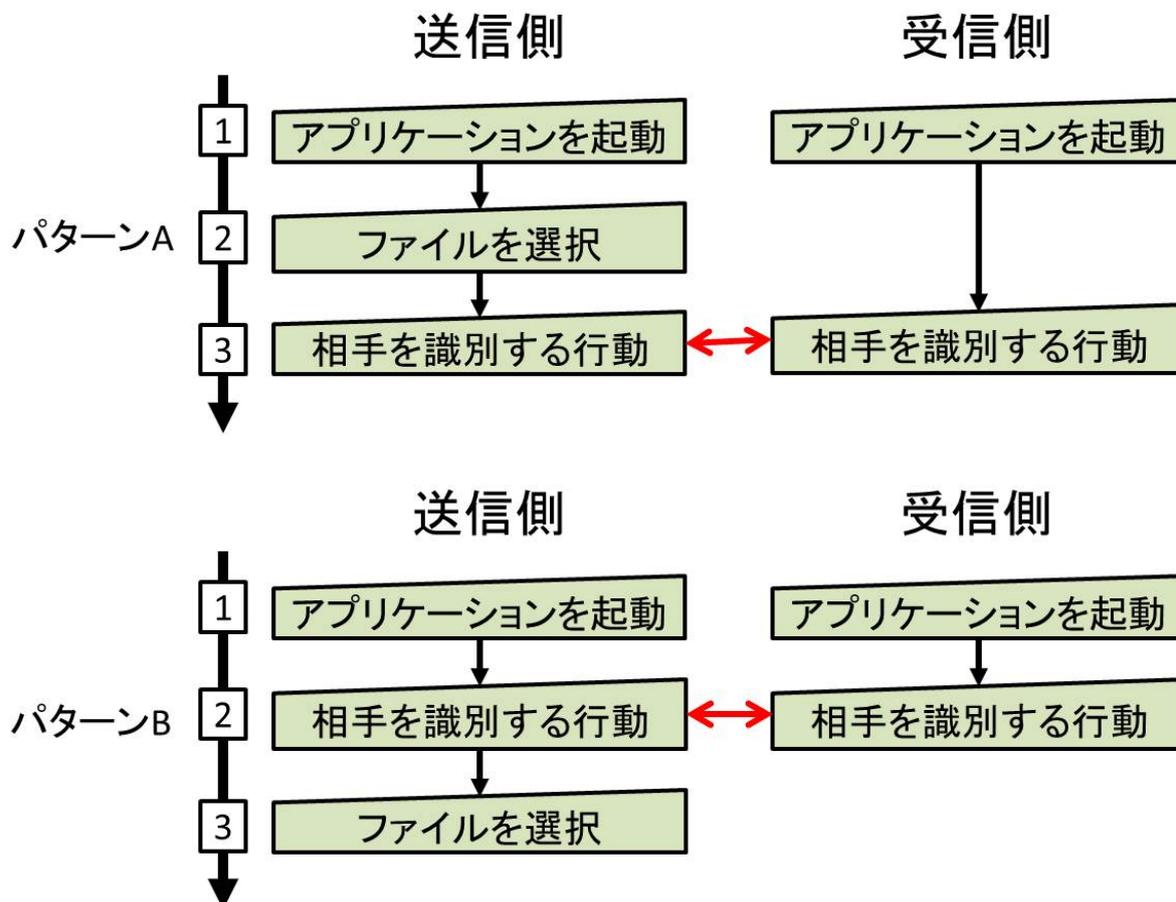


図 6.3: 開始ステップ数：既存手法と本手法

既存手法または本手法を用いた場合の開始ステップ数のモデルを，図 6.3 に示す．既存手法の開始ステップは，相手を識別する作業とファイル選択の順番によって 2 パターンに分類される．各既存手法と本手法はパターン A のに属し，さらに Bump の一部バージョンはパターン B にも属する．図 6.3 の相手を識別する行為とは，Bump におけるぶつける行為や本手法における画面とカメラを向き合わせる行為を指している．

6.5 評価のまとめ

本研究の評価のまとめを述べる．本研究が 2.4.2 項で提示した 4 つの要件のうち，可視光による伝達は 3 つを満たし，1 つを条件付きで満たすことができた．条件付きと判断された距離に関する要求も，画像をカメラで取得する能力が今後成長することによって改善

することが期待される。さらに、ユーザが要求される作業の回数を数えることで、本研究の提案手法が Bump などの既存技術と同等にデジタルコミュニケーションを円滑に開始できることが分かった。

第7章 結論

本章では本論文の成果をまとめ、今後の展望を述べる。

7.1 本論文のまとめ

本論文では、同じ物理空間にいる相手とデジタルコミュニケーションを開始する際の、デジタル空間内で用いる識別子を伝達する作業と、伝達した識別子を入力する作業を簡略化することを目的とした。そのアプローチとして、お互いのユーザが相手を視認できるという前提から、画像化された識別子を可視光を用いて伝達する手法を提案し実装した。本手法ではまず、1人のユーザが決定したデジタルコミュニケーションの内容と自分の識別子を URI 化し、それを画像化して表示することで、自分を視認できる複数の相手に対して情報伝達を行う。URI を受け取った相手ユーザは、受信した URI に従ってデジタルコミュニケーションを開始する。本手法を用いることで、ユーザは通信機器の画面やカメラを相手と向き合わせるという直観的な行為によって、デジタルコミュニケーションが円滑に開始されるようになった。

デジタル空間上でコミュニケーションを行う際には、実際に使用するアプリケーションプロトコルと相手を一意に特定する識別子を通信機器に入力することが必要である。ユーザ同士の会話でこれらの情報を伝達する際、ユーザが行わなければいけない2つの煩雑な作業がある。1つ目は、識別子を伝達する作業である。会話による情報伝達は情報の齟齬が発生しやすく、受け取ったユーザが識別子を復唱するといった煩雑さがある。2つ目は、識別子を入力する作業である。会話によって人が記憶した識別子を、キーボードを用いて入力する作業は煩雑であるといえる。これら2つの問題点の解決を本研究では行った。

ユーザ同士が伝達の可否を確認する作業を省略し、かつ通信機器に入力する作業を省略するためには、各ユーザが持つ通信機器同士が直接情報伝達を行う必要がある。本研究ではこの要件を満たす既存手法として、Bump のようなアプリケーションによる解決手法と FeliCa や IrDA の様な通信方式による解決手法を挙げた。しかし、これらの手法にも問題点がある。1つ目は、一対多の通信が行えない点である。機密性や相手の識別手法から一対一での利用に限定されている手法がある。この問題点は、Bump と FeliCa が該当する。2つ目は、離れた相手との利用が行えない点である。本研究では、直接触れ合えない距離での利用も想定している。しかし、FeliCa や IrDA はこれらの要求を満たせない。これは、離れた相手を向きによって指定することができないからである。本研究では、通信媒体に可視光を用いることとカメラを通して相手の向きを指定することで、一対多かつ離れた相手とも利用できる手法を提案した。

本研究では、デジタル空間での識別子を伝達する手法として、画像化した情報を可視光で伝達する視覚チャンネルを提案した。視覚チャンネルは、各通信機器が持つ画面とカメラを用いた情報伝達の経路である。伝達する情報を画像化して画面に表示することで送信を行い、それをカメラで撮影し復号することで受信を行う。視覚チャンネルによる情報伝達は一方向な物なので、複数の通信機器がカメラを向けて同時に受信することができる。さらに、カメラが認識している視界はユーザが目で確認することができるので、識別子の発信者を向きで指定することができる。

本論文では、視覚チャンネルを利用してデジタルコミュニケーションを開始するシステムの設計と実装を行った。本システムは、視覚チャンネルの送信側が指定したデジタルコミュニケーションと通信の相手を URI で表記する。この URI を QR コード化し、送信側の画面から受信側のカメラに伝達することで、受信側の通信機器からデジタルコミュニケーションが開始される。

本手法の有用性を検証する為に、本研究の要件である利用距離と一対多での利用、伝達の確認作業の省略と識別子を入力する作業の省略の 4 項目が満たされているかを評価した。評価の結果、利用距離のみを条件付きで満たし、残りの 3 つを完全に満たすことが分かった。利用距離を制限する条件はカメラの撮影能力であり、この能力が低い場合は利用可能な距離が短くなる。しかし、カメラの撮影能力にはより高解像度の写真撮影などの需要があるので、今後利用可能な距離が延長されることが期待できる。

7.2 今後の課題

本節では、本研究における今後の課題について述べる。本研究における今後の課題は 3 つある。各課題について以下に述べる。

1 つ目の課題は、アプリケーションの選択作業の簡略化である。本論文で実装したシステムは、ユーザが行いたいデジタルコミュニケーションを実現させるアプリケーションがどれであるかを、ユーザ自身の判断によって選択する必要がある。ファイル転送やビデオチャット等、ユーザが行いたいデジタルコミュニケーションを指定することで、システムが具体的なアプリケーションを検索して提示もしくは決定することが要求される。

2 つ目の課題は、複数の URI の生成と伝達である。本論文で実装したシステムは、1 つの URI を伝達することしかできない。もしカメラで受信した通信機器が対応していないスキームが要求されている場合、ユーザが利用するアプリケーションを変更する必要がある。よって、1 つ目の課題で述べた複数挙がったアプリケーションの検索結果に対応した、複数のスキームを URI 化して伝達することが要求される。

3 つ目の課題は、カメラによる画像取得能力の向上である。カメラによる画像の取得の成否は、解像能力だけでなく画像の検出・解析アルゴリズムによっても変化する。本システムに用いた Zxing ライブラリは、画像を近距離かつ垂直に撮影することが想定されている。画像との距離が一定以上離れている場合や、斜めからの撮影によって画像が歪んで見えるときには取得が出来ない。これは、カメラが認識した視界のなかで画像の場所を発見できないからである。この時、ユーザが画面に触れるといった操作で画像の場所を指定す

ることによって、解析アプリケーションが画像を発見する処理を補助することができると考えている。より遠距離や斜めの位置からの画像取得が可能になることで、授業や発表会場といったより一対多かつ遠距離な利用シーンでも利用できることが期待される。

謝辞

本論文の作成にあたり、ご指導頂いた慶應義塾大学環境情報学部学部長村井 純博士、同学部教授 徳田 英幸博士、同学部教授 中村 修博士、同学部准教授 楠本 博之博士、同学部准教授 高汐 一紀博士、同学部准教授 三次 仁博士、同学部准教授 植原 啓介博士、同学部専任講師 重近 範行博士、同学部専任講師 中澤 仁博士、同学部専任講師 Rodney D. Van Meter III 博士、同学部教授 武田 圭史博士、同学部専任講師 吉藤 英明博士、慶應義塾大学政策・メディア研究科特別研究講師 斉藤 賢爾博士、同研究科特別研究助教 片岡 広太郎博士、慶應義塾大学 SFC 研究所所員 峯岸 宗弘氏に感謝致します。特に重近 範行博士は、研究で行き詰まる私に対して非常に根気強く指導していただきました。常に新しいアイデアと研究手法で私を導いていただき、何度も私に新しい視点や手本を見せていただきました。本当にありがとうございました。

そして、本研究を進めていく上で、様々な励ましと助言、お手伝いをいただきました、村井研究室卒業生である中村 友一氏、金井 瑛氏、奥村 祐介氏、海崎 良氏、石原 知洋氏、立石 幹人氏、佐藤 泰介氏、佐藤 龍氏、佐藤 貴彦氏、勝利 友香氏、前嶋 陽一氏、杉本 健一氏に感謝致します。

慶應義塾大学政策・メディア研究科後期博士課程空閑 洋平氏、岡田 耕司氏、田崎 創氏、松谷 健史氏、堀場 勝広氏、本多 倫夫氏、水谷 正慶氏、工藤 紀篤氏、同研究科修士課程、六田 佳祐氏、峯木 巖氏、江村 圭吾氏、黒宮 佑介氏、重松 邦彦氏、波多野 敏明氏、永山 翔太氏、上原 雄貴氏、同大学大学院メディアデザイン研究科博士課程 遠峰 隆史氏に感謝致します。特に空閑 洋平氏は、多忙な身にも関わらず、親身に相談に乗っていただき、研究の方向性を指導や実装の細やかなケアをはじめとするあらゆる面で面倒を見ていただきました。氏なしでは卒論執筆だけでなく充実した研究室生活を送れませんでした。本当に感謝致します。

研究に協力をしていただいた、小澤 みゆき氏、中村 遼氏、澁田 拓也氏、中村 尚生氏、山岸 祐大氏、藤本 大輝氏、佐藤 友紀氏、横石 雄大氏、村上 滋希氏、能島 良和氏、石崎 佳織氏、鴻野 弘明氏、碓井 利宣氏、中島 明日香氏、藤原 龍氏と徳田・村井合同研究室の皆様、そして卒論執筆で迷惑をかけた CNS コンサルタントのメンバーに感謝致します。

研究室で苦楽を共にした鶴飼 佑氏、澤田 暖氏、梶原 浩紀氏、Do Thi Thuy Van 氏、米村 茂氏、富田 千智氏、山田 真弘氏、廣石 達也氏、齋藤 俊氏、宮崎 圭太氏、Nguyen Hung Long 氏、Doan Viet Tung 氏、福岡 英哲氏、梅田 昂氏に感謝致します。彼らと一緒に研究をすることでお互いを刺激しあい、より質の高い議論や研究をすることができました。

最後に、大学入学からの4年間だけでなく22年間をあらゆる面で支えていただいた父、隆宏と母、里江子と妹、聡子に心から感謝致します。

参考文献

- [1] Inc. Bump Technologies. The bump app for iphone and android bump technologies, inc..htm. <http://bu.mp/>.
- [2] Sony Corporation. Felica. <http://www.sony.co.jp/Products/felica/>.
- [3] Infrared Data Association. Irda data. <http://www.irda.org/>.
- [4] The Institute of Electrical and Inc. Electronics Engineers. Ieee 802.15.7 task group.htm. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG7.html>.
- [5] DENSO WAVE INCORPORATED. Qr コードドットコム. <http://www.qrcode.com/>.
- [6] INC. NTT DOCOMO. Qr コードの設定可能文字数の目安. <http://www.nttdocomo.co.jp/service/imode/make/content/barcode/reference/index.html>.
- [7] au. 技術情報:バーコード. http://www.au.kddi.com/ezfactory/tec/two_dimensions/.
- [8] Inc. MyVoice Communications. Qr コードの認知率. <http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/11101/index.html>.
- [9] Zxing. <http://code.google.com/p/zxing/>.