

多値二次元コードを利用した視覚障害者に対する音声支援

古本啓祐^{†1} 森井昌克^{†1}

音声エージェント機能や視覚障害者向けのインターフェースを備えたスマートフォンやタブレット端末が近年普及してきており、視覚障害者がこれらの携帯端末を利用して各種情報を取得する機会が増えてきている。二次元コードは携帯端末でアナログ情報を取得する一般的な方法であるが、情報の伝達手段は主にテキストデータの画面表示であり視覚障害者の利用は困難である。音声データを格納可能な二次元コードも存在するが、十分なデータ容量を確保できないことや二次元コードは視認性に乏しいため健常者向けの二次元コードとの使い分けが困難であるといった課題が挙げられる。本稿で提案する符号化方式を工夫した多値二次元コードを利用することで、上記の課題を解決した上で音声データを格納することが可能である。さらに、提案方式の多値二次元コードと既存の音声合成エンジンを連携させることで、より多様な手段で視覚障害者に対して音声支援を行えるシステムを構築する。

A Voice Support for Visually Impaired Persons Using Multi-level Two-dimensional Code

FURUMOTO KEISUKE^{†1} MORII MASAKATSU^{†1}

Recently, with the growing rate of smartphones and tablet with an interface for visually impaired persons and voice agent functionality, opportunity to visually impaired persons to get a variety of information using these mobile devices is increasing. Two-dimensional code is a common way to get the analog information on mobile devices, but the transmission means of the information is limited to the screen, so it is difficult to use for visually impaired persons. Some of the two-dimensional code is possible to store the voice data, but it is difficult to secure sufficient data capacity, and convenience is significantly lowered because visibility of the two-dimensional code is low. In this paper, by performing multiplexing of the two-dimensional code on which is provided a limit on the arrangement of signal points, we propose method that can be used to embed data of sufficient capacity while healthy people can use conventional applications. In addition, by using linking the text-to-speech engine and multi-level two-dimensional code, it is possible for visually impaired persons to obtain audio information more various means.

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット端末等の携帯端末の高性能化は著しいものがあり、広く普及してきている。従来は Web ブラウザ上等に実装された音声補助機能を利用して視覚障害者が各種情報を取得するということが行われてきたが、必ずしも画面サイズの小さくないタブレット端末の普及や Apple 社の Siri)に代表される音声エージェントの機能向上により、視覚障害者がこれらの携帯端末を利用して各種情報にアクセスする機会が増加し、その重要性は増してきている。これらの携帯端末を利用してアナログ情報をデジタル化して取得する際は、QR コード 2)3)に代表される二次元コードを利用することが一般的である。オフラインでも利用できる二次元コードは災害時等の情報の伝達手段としても有効である。しかし、多くの二次元コードにおける情報の伝達手段はテキストデータを画面表示するというものであり、また Web ページの URL が格納されていることも非常に多く、視覚障害者が利用することは容易ではない。

二次元コードを利用して音声による情報伝達を行うシステムも存在するが、これらのシステムには次章で詳しく述べるように、格納データ容量や二次元コードの視認性に関

する課題が存在する。筆者らはこれまで二次元コードを多値化することにより格納データ容量を増加させ、さらに符号化方式を工夫することにより既存のデコーダとの下位互換性を備えた上で新たに情報を格納可能な方式 4)を提案しており、その方式を利用して音声データを格納する方式 5)についても提案を行ってきた。本稿では上記の方式を利用した音声による情報伝達に加えて、既存の音声合成エンジンを利用し、より多様な手段で視覚障害者に対して音声支援を行うことが可能なシステムを提案する。提案システムは視覚障害者に対する音声支援の他にも、音楽データや画像データの格納等、様々なサービスに応用できる工学的な汎用性を備えている。

2. 二次元コードを利用した音声による情報伝達

2.1 ネットワーク環境下での二次元コードの利用について

現在、二次元コードは商品や広告紙面、在庫管理といった様々な場面で利用されている。健常者は商品等に印刷された二次元コードを読み取ることにより、商品情報や関連する Web ページの URL 情報等を取得することが可能である。視覚障害者が二次元コードを利用する場合、携帯端末の操作性やカメラ機能の向上、二次元コード自体の認識精

^{†1} 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

度向上もあり、商品に付属している二次元コードの存在を把握することができれば、二次元コードの読み取りに関しては行うことは可能であると考えられる。しかし、画面表示されたテキストデータの認識は困難であり、URL 情報から Web ページにアクセスし各種情報を閲覧するのは現実的ではない。Web ブラウザに備えられた音声読み上げ機能を利用する場合でも一定の処理時間が必要であり、ネットワーク環境が必ずしも保証されていない災害時等の場面においては利用することができない。災害時等でも利用可能な汎用性を持たせるには二次元コードを介した視覚障害者に対するシステムはオフラインでも利用可能であるべきである。ここで、オフラインで利用可能な二次元コードを利用した既存の音声伝達システムについて次節で述べる。

2.2 二次元コードを利用した既存の音声伝達システムについて

ネットワーク環境を必要とせずに二次元コードを利用して音声による情報伝達を行う方式には、大きく分けて音声データを直接格納する方式とデコードシステムにおいて音声合成を行う方式がある。二次元コードを利用して音声による情報伝達を行う既存のシステムとして、音声データを直接格納するボイス QR⁶⁾やデコード側で音声合成を行う音声コード⁷⁾がある。図 1 にそれらのシステムの概要を示し、以下に特徴を述べる。

- ボイス QR

音声データをバイナリデータとして QR コードに格納し、デコード側でバイナリデータから音声データを復元することで音声による情報伝達を行う仕組みである。ボイス QR を利用して音声データを格納した QR コードを紙媒体に印刷することで、挨拶等の一言程度の音声データを伝達可能としている。音声内容が一言程度に限られるのは、QR コードに格納できるデータ容量は最大でも 3KB 程度であり、さらに認識精度の関係上バージョンの大きな QR コードを使用することは現実的ではないためであると考えられる。ボイス QR を利用できるのは一部のフィーチャーフォンのみである。格納されているのはバイナリデータであるため、従来のデコーダとの下位互換性は備えていない。

- 音声コード

テキストデータを格納した音声コードに対して専用の活字文書読み上げ装置で処理を行うことで、テキストデータを音声により伝達可能としている。二次元コードに格納するのが音声データではなくテキストデータであるため伝達可能な情報量は非常に多い。音声コードは視覚障害者の使用のみを想定しているため読み取りの際には専用の装置が必要であり、実際に利用する際には従来の QR コードと併記することを想定している。

二次元コードを利用して音声伝達を行うシステムを構築する場合、上記の二つのシステムのように視覚障害者専用のシステムを構築する方式と汎用のシステムを改良して視

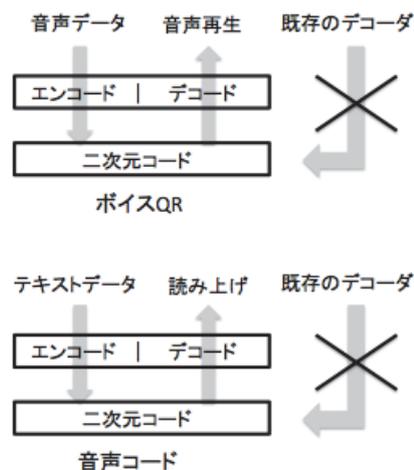


図 1 既存の二次元コードを介した音声伝達システム

Figure 1 Existing voice transmission system using Two-dimensional code.

覚障害者も利用可能とする方式がある。前者の方式の問題点としては、まず健常者が利用できない点が普及の妨げとなり得ること、また音声コードのように健常者向けの二次元コードと併記することは印刷物において印刷面積が増大し現実的ではないことが挙げられる。さらに、二次元コードは視認性に乏しいため、視覚障害者専用の二次元コードを生成する場合、利用者の利便性が著しく低下するという問題が生じる。複数の二次元コードを用途や利用者に応じて使い分けことが困難であるからである。以上より、音声による情報伝達を行う二次元コードの現実的な運用を考えた場合、後者の方式のように既存のデコーダとの下位互換性を備えた上で、1 枚の二次元コードにおいて健常者も視覚障害者も利用できる方式が望ましい。後者の方式であり、比較的システム構築が容易な QR コードの埋草コード語を利用した方式と音声合成エンジンを利用する方式について図 2 に概要を示し、次節で特徴を述べる。

2.3 既存のデコーダとの下位互換性を備えたシステムについて

- 埋草コード語を利用した方式

QR コードには埋草コード語と呼ばれる有意な情報を持たないコード語が存在し、任意に書き換えることが可能である。埋草コード語のデータ量はバージョンや誤り訂正レベル、格納データ量に左右される。一般に広く普及しているバージョン 5、誤り訂正レベル M の QR コードにおける埋草コード語のデータ量は格納データ量を $q(B)$ とすると $86-q(B)$ である。符号化の際に画像データを埋草コード語に重畳することで QR コードのデザイン化が可能な方式⁸⁾⁹⁾が示されている。また、データを新たに格納する方式ではないが、符号化の際に埋草コード語部分を新たな検査点とすることで誤り訂正能力を向上させる方式¹⁰⁾も提案され

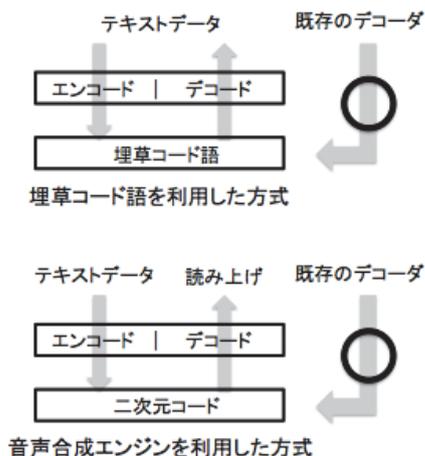


図 2 既存のデコーダとの下位互換性を備えたシステム
 Figure 2 System with compatibility of existing decoders.

ている。埋草コード語部分には規格上は有意なデータは格納されていないので、埋草コード語部分を新たな用途に利用した場合でも既存のデコーダで利用可能である。しかし、画像データを重量する方式では QR コードのデザイン化が目的であり、埋草コード語部分に格納しているデータは有意なものではない。つまり、埋草コード語部分を利用して新たに有意なデータを埋め込む方式は符号化方式と既存のデコーダに少しの改良を加えるだけで実現可能であるが、格納データ量が非常に少ないため音声データや一定量のテキストデータなどを新たに埋め込むことは困難である。

● 音声合成エンジンを利用した方式

既存の QR コードと音声合成エンジンを連携させることで、取得したテキストデータを音声により読み上げるといったシステムを比較的容易に実現可能である。既存のデコーダでもテキストデータの取得を行うことが可能であり、音声伝達可能な情報量も音声データを直接格納する方式と比較して増加する。しかし、災害時の音声案内等の特定の用途においては健常者が音声で読み上げられることも考慮したテキストデータを取得するという場面の実現性があるものの、より幅広い用途を考えた場合、健常者にとって利便性が高い形態の情報と音声読み上げに適した情報というのは異なっている場面が多いと考えられる。視覚障害者の利用を重視した場合、既存の QR コードに格納するデータの形式に一定の制限を設けることになり、これは普及を妨げる要因となり得る。また、システムの機能や操作性、対応言語等は音声合成エンジンの性能に大きく左右される。

以上のように、埋草コード語を利用する方式はデータ容量の課題があるため実現が困難であり、音声合成エンジンを利用した方式では特定の用途における有用性はあるものの様々な場面で視覚障害者に対する音声支援を行うことが可能なシステムとすることは難しい。

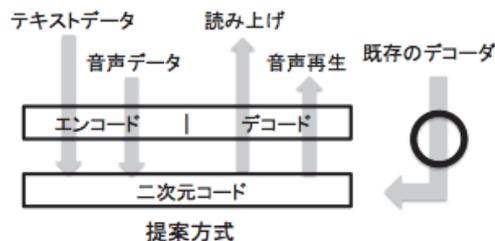


図 3 提案方式
 Figure 3 Proposed system.

そこで、本稿では多値二次元コードを利用することにより格納データ容量を増加させ、さらに既存のデコーダとの下位互換性を備えた方式を提案する。提案方式を利用することで、既存のデコーダでも従来通りの利用が可能でありながら新たに音声データを格納可能である。概要を図3に示し、理論的な提案方式の実現方法について3章で述べる。また、提案方式を利用し、音声合成エンジンとの連携も可能とした視覚障害者支援システムについて4章で述べる。

3. 多値二次元コードの拡張

3.1 二次元コードの多値化に関する従来研究

従来の多くの二次元コードは明暗の2値で構成されており、1つのモジュールが1bitの情報に相当する。二次元コードを多値化し1モジュールを従来の2値ではなくn値のRGB値で構成した場合、1モジュール当たりのデータ容量を $(\log_2 n)$ bitと拡張することが可能である。カラーでは1モジュール当たり24bit、グレースケールでは1モジュール当たり8bitまでのデータを理論的には格納することが可能である。しかし、二次元コードを多値化するにつれて各モジュールを構成しているRGB値間の色差が減少するため、印刷時や撮影時に加わる雑音により正確に各モジュールを識別することは困難となる。二次元コードを多値化した際の認識精度を向上させた方式や既存のデコーダとの下位互換性を備えた上で多値化を行う方式に関する研究は複数行われている。符号化変調方式 11)12)13)14)15)を利用することでカラー化した際の高階調度における認識精度を高めた方式 16)では、1モジュール当たり32値の識別が可能であることが示されている。また、グレースケールにおける多値化を行う際の信号点の配置に一定の制限を設けることで、既存のデコーダとの下位互換性を備えることが可能な方式 4)が示されている。この方式では既存のデコーダが2値の二次元コードの読み取りを行う際にしきい値を算出して撮影画像内に分布した各輝度を識別していることを利用して、そのしきい値による識別を考慮してあらかじめ信号点と対応するbit列を設定することで実現している。また、二次元コードの多値化に関連して、グレースケール及びカラー

化した二次元コードにおける情報ハイディングの方式 17) も提案されている。

3.2 多値二次元コードのデータ容量の拡張

本節では既存のデコーダとの下位互換性を備えた上で新たに埋め込むデータ容量を拡張可能な方式について述べる。次章の視覚障害者に対する音声支援を行う提案システムには本節の方式を利用している。本節の方式は二次元コード一般に適用可能であるが、以下では広く普及している QR コードに対するグレースケールにおける多値化を例に説明する。この方式では信号点との対応付けを行う際に符号化変調方式を利用することで認識精度の向上を図る。さらに、従来の多値化方式とは異なり、既存の QR コードに対して新たに埋め込むデータの生成には RS 符号化やマスク処理といった従来の QR コードの枠組みは使用しないことで格納データ容量の拡張を可能としている。

3.2.1 生成方法

具体的な生成方法について以下に述べる。

Step1 既存のデコーダで読み取りを行う対象とする QR コードを生成し、そのモジュールの明暗情報を 2 元系列で抜き出す。モジュールの総数を m とする。

$$a = a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$$

Step2 Step1 の QR コードに対して新たに埋め込むデータを 2 元系列で生成する。データ容量を k bit とする。

$$b = b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$$

Step3 2 つの 2 元系列から情報系列を生成する。

$$c = a_1, a_2, a_3, \dots, a_m, b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$$

Step4 情報系列に対して組織量込み符号化を実行して符号系列を生成する。系列長 n は多値化を行った際に格納可能な最大なデータ量である。例えば、信号点を 8 つ設定し 1 モジュールあたり 3bit の情報を保持する場合の系列長 n は $m \times 3$ となる。

$$d = d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$$

Step5 符号系列を各符号ブロックに分割する。例えば、信号点を 8 つ設定する場合は 1 モジュールあたりの情報量である 3bit ごとに分割を行う。1bit 目が既存のデコーダで読み取りを行う QR コードのモジュール情報と対応している。

$$x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_m$$

$$x_i = x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots = d_i, d_{m+i}, d_{2m+i}, \dots$$

Step6 128 近辺の輝度値を除いた既存のデコーダが明暗を正確に識別可能な範囲内に各符号ブロックと対応付ける信号点を設定する。そして、符号化変調方式を利用して各符号ブロックと信号点を対応付ける。対応付けの詳細につ

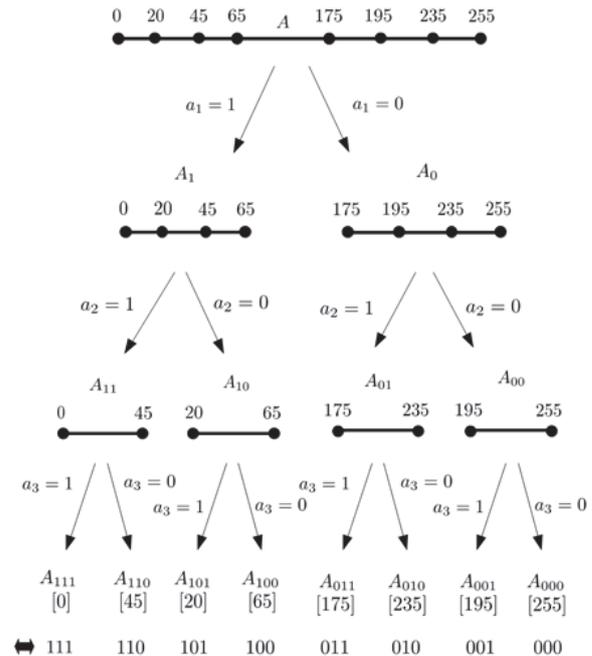


図 4 8 つの信号点と 2 元系列の対応規則
 Figure 4 Correspondence of signals points of the eight individual to bitstream.

いては後述する。

Step7 対応付けた各信号点をそれぞれのモジュール色として配置し、多値二次元コードを生成する。

符号化変調方式を利用した符号ブロックと信号点の対応付けについて以下に述べる。Ungerboeck により提案された集合分割法 (12) を利用して、各信号点間のユークリッド距離をもとに bit 列との対応関係を決定する。例として、既存のデコーダが明暗を正確に識別可能な範囲内に設定した 8 つの信号点と 3bit の符号ブロックを対応付けした結果を図 4 に示す。図 4 の場合、符号ブロックの 1bit 目が既存のデコーダで読み取りを行う QR コードのモジュール情報と対応している。本方式では既存のデコーダと下位互換性を持たせるために、1bit 目の明暗と実際に既存のデコーダが認識する明暗が一致するように対応付けを行っている。

3.2.2 復号方法

復号の際はまず撮影画像から取得した各モジュールの輝度値と生成時に使用した対応規則から、対応付けられた 2 元系列を得る。その 2 元系列から生成時の符号化後の系列を取得し受信系列とする。この受信系列に対してビタビ復号 (11) を実行し、得られた復号系列から新たに埋め込んだ 2 元系列を得る。図 5 にビタビ復号の際に利用するトレリス線図を示す。トレリス線図は内部状態がすべて零の状態から始まり、符号器に情報ブロックが入力される度に各状態に遷移していく模様を表している。

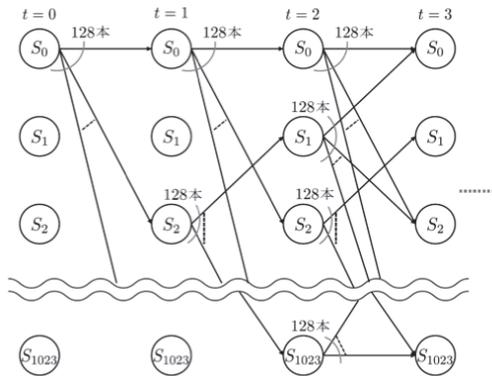


図 5 符号化率 7/8, 拘束長 11 のトレリス線図

Figure 5 Trellis diagram of the rate 7/8 convolutional encoder of constraint length 11.

4. 視覚障害者支援システムの構築

本章では 3.2 節の方式ならびに音声合成エンジンを利用した視覚障害者に対して音声支援を行うことが可能なシステムを提案する。まず、4.1 節で提案システムの概要について述べ、4.2 節では音声データの生成等に関する詳細について述べる。そして、4.3 節で評価を行う。

4.1 提案システムの概要

本節で述べる提案システムは 3.2 節の方式を利用した直接音声データを再生して情報伝達が可能な機能に加えて、音声合成エンジンを利用することで既存の二次元コードに格納されたテキストデータも音声で伝達可能となっている。音声合成エンジンと二次元コードのデコーダとの連携については 2 章で述べたように、特定の用途や場面においては利便性が高いものの、多様な用途に応用することは困難であり、また既存の二次元コードに格納するテキストデータについて制約が生じ健常者の利便性を低下させてしまう。そこで、本節の提案システムでは 3.2 節の方式を利用して格納した音声データの補助情報を得ることを目的として音声合成エンジンを利用する。既存の二次元コードに格納されたテキストデータは必ずしも音声による読み上げに適した形態ではなかった場合でも、新たに埋め込んだ音声データにより視覚障害者に対する音声支援は可能である。3.2 節の方式では既存のデコーダの利用を妨げることなく新たに音声データを格納しているため、このような音声合成エンジンとの連携が可能となっている。

ここで音声合成エンジンに関する現状について簡潔に説明する。音声合成エンジンは Google 社の Android 及び Apple 社の iOS 対応の機種が多くにあらかじめ搭載されている。ただし、日本語に対応しさらに無償の音声合成エンジンは広く普及しているとは言えず、例えば、Android にあらかじめ搭載されている音声合成エンジンは日本語には対応していない。また、音声合成エンジンを開発者側が他のアプ

リケーションとの連携等に利用できるかどうかについても各プラットフォームや音声合成エンジンのアプリケーションにより異なっている。本稿の提案システムでは株式会社 KDDI 研究所が開発し Android マーケット上に無償で配布されている N2 TTS 18) があらかじめインストールされた端末を使用してシステムの構築を行った。

4.2 音声データの生成と格納

提案システムにおける音声データの生成について本節で述べる。まず、音声信号に対して音声符号化を実行する。音声符号化の手法としては様々な方式が存在するが、音声を再生する Android 端末の仕様や利用者が伝達内容を理解可能な程度の音質が良いことを考慮して、本稿ではデルタ変調を応用した方式で音声符号化を行っている。次に、音声符号化により生成したデータに対してデータ圧縮を行う。データ圧縮の手法にも ZIP 方式等様々な方式が存在するが、本稿ではオープンソースで随時改良が行われている paq8 シリーズ 19) を利用する。この方式は処理時間等に課題はあるものの下位の圧縮レベルを指定した場合でも ZIP 方式以上の圧縮率を実現可能である。実際に使用する場合には端末のメモリの使用量の上限等も考慮することが必要である。以上の方式を利用して生成した音声データを 3.2 節の方式を利用して二次元コードに新たに格納する。

3.2 節の方式で符号化を行う際の畳込み符号器について簡潔に説明する。本稿で提案するシステムではより多くの音声データを格納するために、可能な限り高い符号化率の畳込み符号器を利用することが望ましい。高い符号化率の畳込み符号器を使用する場合、符号化率の低い畳込み符号器から送信 bit を定期的に消去したパンクチャド符号 11) を利用する機会が多い。パンクチャド符号を利用した場合はもとの符号と比較して復号性能は劣化するものの、もとの畳込み符号器に対するビタビ復号器からの変更が少なく済むからである。本稿の提案システムにおいても、音声データのデータ量や既存の二次元コードに格納可能なデータ量に応じて符号化率は可変となるため、パンクチャド符号を利用して音声データの符号化を行う。

4.3 提案システムの評価

音声の録音時間を 8 秒間、サンプリングレートを 2500Hz とし 4.2 節で述べた方式を利用して音声データを生成する。次に、3.2 節の方式を利用して音声データに対して符号化率 7/8 の組織畳込み符号化を行う。この際に使用した組織畳込み符号器を図 6 に示す。文献 20) で報告されている符号化率 1/2, 拘束長 11 の畳込み符号器をもとに構成を行った。また、信号点の設定と対応付けに関しては図 4 の対応関係を使用した。

以上の方式で誤り訂正レベル L のバージョン 10 の QR コード約 2 枚分のデータ容量に相当する約 4KB のデータを新たに埋め込み評価を行った。なお、既存のデコーダで読み取りを行う QR コードの誤り訂正レベルは H としている。

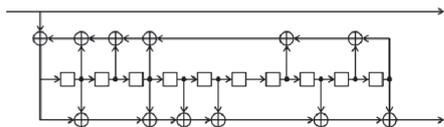


図 6 拘束長 11, 符号化率 1/2 の畳込み符号器

Figure 6 Encoder of rate 1/2 convolutional code of constraint length 11.



図 7 生成例

Figure 7 Generation example.

生成例を図 7 に示す。まず、実験端末 21)上で既存の QR コードデコーダ 22)23)24)を利用して読み取りを行ったところ、すべてのアプリケーションにおいて既存の QR コードに格納されたデータを読み取り可能であった。既存の QR コードの読み取りが可能であったので、音声合成エンジンを利用することにより、その内容を音声により伝達することも可能である。また、実用的な処理時間を 5 秒間と定め、その時間内の試行により新たに埋め込んだデータの復号を行うことが可能であったかについて評価を行ったところ、3.2 節の手順により復号を行うことが可能であった。この評価基準については、従来の QR コードデコーダにおいても使用者が感知しない間にもデコードは複数回行われており、試行回数よりも処理時間を重視したためである。

5. おわりに

本稿では二次元コードを利用した視覚障害者に対する音声支援に関して、既存のシステムや様々な方式が抱える問題を解消可能な視覚障害者支援システムを実現した。システム構築の際に利用した 3.2 節の方式は既存のデコーダでも従来通りの利用が可能でありながら、新たに埋め込んだデータを専用のデコーダにより読み取り可能というものであり、音声データ以外のデータを格納することで様々な用途に応用可能な工学的な汎用性を有している。例えば、既存の QR コードには楽曲情報を格納し、MIDI 規格による音楽データを新たに格納するといった用途も考えられる。これらの視覚障害者支援システム以外の用途への応用やさらなる格納可能なデータ量の拡張については、今後の課題

とする。

参考文献

- 1) Apple - iOS 7 - Siri
<http://www.apple.com/jp/ios/siri/>
- 2) 日本工業規格, "JIS,X0510,二次元コードシンボル—QR コード—基本仕様," 2004.
- 3) 株式会社デンソーウェーブ, "QR コードドットコム,"
<http://www.qrcode.com/>
- 4) 古本啓祐, 渡辺優平, 森井 昌克, "グレースケール多重化二次元コードとその応用," 信学技法, ICSS 11 月, 2012.
- 5) 古本啓祐, 森井 昌克, "QR コードによる視覚障害者支援システムの構築 ~ 災害時等での QR コードによる音声支援システム ~," 信学技法, LOIS 5 月, 2013.
- 6) 株式会社アイエスピー, "ボイス QR,"
<http://www.isp21.co.jp/products/qr.html>
- 7) Tellme, "音声コードについて,"
<http://www.tellme.jp/voicecode/index.html>
- 8) HAGIWARA Manabu, QR-JAM,
http://qrjam.jp/trial/generate_form.html?limit=10
- 9) NAMCO BANDAI Games Inc.,特許公開 2008-052588,2008
- 10) 青山直樹, 渡辺優平, 森井昌克, "埋草コード語を利用した QR コードの高誤り訂正," 第 12 回情報科学技術フォーラム (FIT2013),2013
- 11) 今井秀樹, 符号理論, 電子情報通信学会,1990 年.
- 12) G. Ungerboeck, "Trellis-coded modulation with multilevel/phase signals," IEEE Trans. Inf, vol.28, no.1, pp.55-67, 1982.
- 13) 笠原正雄, "符号化変調方式 [I] - デジタル変調方式とその発展を支えたテクノロジー -," 電子情報通信学会誌,vol.72,no.1,pp.97-106,1989.
- 14) 笠原正雄, "符号化変調方式 [II] - デジタル変調方式と誤り訂正符号の統合 -," 電子情報通信学会誌,vol.72,no.2, pp.217-226,1989.
- 15) 笠原正雄, "符号化変調方式 [III・完] - 符号化変調方式とその将来 -," 電子情報通信学会誌,vol.72,no.3,pp.306-316,1989.
- 16) 遠藤祐介, 廣友雅徳, 佐治勇樹, 渡辺優平, 森井昌克, "多値二次元コードにおける高階調度認識アルゴリズムの提案," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J95-D, No.11, pp.1935-1943, 2012.
- 17) 寺浦信之, 桜井幸一, "グレー及びカラー化による二次元コードの情報ハイディング," CSS 2012, 2D1-1, 2012.
- 18) KDDI R&D Laboratories,Inc., "N2 TTS"
<http://play.google.com/store/apps/details?id=jp.kddilabs.n2tts>
- 19) Data Compression Programs,
<http://cs.fit.edu/~mmahoney/compression/>
- 20) 小上祐輝, 笹野博, 檜垣哲嗣, 西村卓也, "性能の優れたバンクチャド畳込み符号(研究速報)," 信学誌 (A), vol.90, no.10, pp.758-761, 2007.
- 21) タブレット - ASUS MeMO Pad HD 7
http://www.asus.com/jp/Tablets_Mobile/ASUS_MeMO_Pad_HD_7/
- 22) WB Development Team, "QR BARCODE SCANNER ver1.4.1"
http://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_progett02003.SCAN&hl=ja
- 23) イクス株式会社, "QR コードリーダー EQS ver.4.4.22"
<http://play.google.com/store/apps/details?id=jp.eqs.apps&hl=ja>
- 24) 3GVision, "i-nigma ver.3.16.02"
<http://play.google.com/store/apps/details?id=com.threegvision.products.inigma.Android&hl=ja>