高可聴域音による音声 ID の観客参加型音楽作品への応用

平林真実[†1]　　江島和臣[†2]

高可聴域音の DTMF による音声 ID を用いることで, 楽曲に含まれる ID に反応し観客のスマートフォンや会場のタブレットから音楽を流れる参加型音楽作品を制作し，ライブにて実演を行った．観客の参加性や会場空間への音楽の広がりなどを実現することで，新しい音楽体験の可能性について検討を行った．

Application of High-Frequency Sound ID for a Musical Work in Which Audiences can Participate

MASAMI HIRABAYASHI[†1]　KAZUOMI ESHIMA[†2]

We performed the musical work which uses the sound ID with high frequency sound DTMF. The IDs are embedded into the music, audiences' smartphones and tablets at the venue reacted by the IDs and they play music pieces. We considered the possibility for novel music experiences brought by participation of audiences and spreading sound at the music venue

1. はじめに

何十年も大きな変化がなかった音楽会場における体感に対して，近年，徐々にメディア技術が導入されはじめ，参加生やリアルタイム性を生かした仕組みが注目されてきている．我々は，アートの分野で先行しているインタラクティブな表現形態やメディア技術を音楽体験へ持ち込むことで，新しい音楽の楽しみ方，新しい体験をもたらすことを目指した研究を行っている．音楽会場における体験をパフォーマ/アーティスト，観客，会場空間の相互インタラクションととらえ, NxPC.Lab という活動において音楽イベントを実施し実験を行いながら，音楽体験を拡張するための実践的な研究を行っている[1][2][3].

特に，音楽会場に親和性のある高可聴域の音声（モスキート音）を ID として利用したシステムにより，パフォーマから観客へのインタラクション[4], 観客から会場とパフォーマへのインタラクション[5][6], を実現するシステムの提案している．これらは主に映像システムにより各々の反応を提示するものであったが，ライブや DJ プレイなどパフォーマの演奏に音楽を介して観客が関与するようなインタラクションは楽曲としての質を確保できず，実現が難しかった.

本稿では，高可聴域音を利用した音声 ID を用いることで，楽曲の一部として観客のスマートフォンや会場内のシステムから音声を発生し，観客と会場空間を巻き込んで音楽空間に包まれるような演奏を体験できるシステムを開発し，音楽会場における可能性について実験を行った.

†1 情報科学芸術大学院大学
Institute of Advanced Media Arts and Sciences
†2 Laartry
Laatry

2. 関連研究および作品

音楽におけるパフォーマと観客とのインタラクションの試みとしては，古くは 1994 年から平沢進氏が行っている“インタラクティブ・ライブ”[7]での，会場内に仕掛けた独自インターフェイスを介した観客による映像への介入，積極的なウェブ展開，音楽配信が有名である．テクノミュージシャン，DJ として有名な Richie Hawtin の別名義 Plastikman が 2010 年の世界ツアーの為に AppStore よりリリースした iPhone アプリケーション SYNK[8]を用いて音のコントロールを観客に委ねる仕組み, ステージ上 LED をコントロールする仕組み, DJ 目線のカメラをライブストリーミングする仕組み，ドラム，パーカッションの演奏情報を可視化したリアルタイムビジュアルを提供する仕組み，その場にいる観客同士がコミュニケーションを取りあうためのチャットシステムを提供して話題を呼んだ．Aphex Twin は, パフォーマンス中にカメラで撮影した観客の顔に, トレードマークである自身の顔をリアルタイムにマッピングして会場内スクリーンに映し出す仕掛けを行い高い評価を得た[9]．COLDPLAY はライブにおいて無線制御可能なリストバンド Xylobands[10] を観客に配布することで，開場での一体感を演出する試みもなされている．また，最近では携帯キャリアの CM においてきゃりーぱみゅぱみゅや FLOWER FLOWER のライブにスマートフォンを用いて参加できるライブを実現している[11]．このような事例は，メディア技術の音楽ライブ会場への適用の可能性を示した好例であるが，同時にこのようなシステムを実現するために必要な設備やスマートフォンのための回線容量などを考えると大手キャリの CM のような大規模な予算が必要である．我々は通常のクラブやライブハウスのような会場で誰

© 2014 Information Processing Society of Japan

でも容易に展開可能なシステムの実現を目指している．

観客参加型の音楽作品としては，サイン波の音声を発生するガジェットを観客が持ち，各々の出す音声が合成されて演奏となる Sine Wave Orchestra[12]が有名である．他には，前述の SYNK などがあるが，参加型の合唱のような従来型以外のものはまれである．これは，我々もこれまでいくつかの実験により経験してきたように，参加型の音楽作品の難しさを反映しているものと考えられる．

高可聴域音を利用した通信としては，ヤマハ株式会社の InfoSound[13]， YouTube などでも使われている SonicNotify[14]，デジタルサイネージに主なターゲットとした SoundTag[15]， 近距離通信用の Smart Sonic Communication[16]，NTT ドコモによる音響 OFDM[17]などがある．これらのシステムでは，スマートフォンなどの端末側ではデコードのみを行っているものが多いが，不特定多数への同時通信手段や近距離での外部機器を必要としない通信手段としての音声通信の可能性を示していると考えられる．本研究で用いている音声 ID である USC(Ultra Sonic Communication）は，高可聴域音を使い DTMF(Dual Tone Multi Frequency）によりコード化したものであり，反応速度の速さや対応できるプラットフォームの広さに特徴がある．詳細については 3 章で述べる．

3. 作品の目的と概要

今回実験を行った作品「Sense of Space」は，ライブ演奏する音楽に対して，いかに参加性を実現するかを目的として作成したものである．楽曲に観客が参加している体験を提供すること，PA だけでなく，会場全体からも音楽が鳴ることで，パフォーマ，観客，会場空間の 3 つが音楽的に繋がり，相互作用により会場全体で体験できる参加型の音楽空間を実現しようとしている．また当然のことながら，楽曲としての質・完成度が高くなければ音楽体験として成立しない．そのため音楽アーティストとして kafuka 名義で活動している江島に楽曲の作成を依頼し，システムとともに共同で制作する作品となっている．

作曲は，PA から音楽，観客からの音楽，会場からの音楽として素材を作成し，全体で楽曲となるように構成したものとなっている．システムは，スマートフォンアプリに音の素材を入れ，音声 ID に対応して音楽が鳴るようになっている．ライブ演奏では，観客が手元に持つスマートフォン，会場内に複数設置されたタブレット，そして PA システムからの音楽が一体となって会場空間を満たすこととなる．

4. 高可聴域音による音声 ID (USC)

4.1 Ultra Sonic Communication

我々は，高可聴域音による DTMF(Dual Tone Multi Frequency) を使った音声 ID として Ultra Sonic Communication（以下 USC と呼ぶ）を 2011 年に開発し，スマートフォンを使った近距離通信や音楽会場におけるインタラクションを実現する手段として利用している．USC は，17000Hz―20000Hz の高可聴域音（いわゆるモスキート音）を使い，電話の発信用のトーン音に使われている 2 つの周波数の音声を重畳することで音声 ID を構成する DTMF という手法による極めて単純な音声 ID である．

USC の特徴は，以下の通りである．

・16000Hz 以上の音声は 20 歳を超えると聞き取りにくくなり，成人にはあまり聞こえないため，音楽と同時に流しても楽曲に与える影響が小さい

・音楽会場においては常設されている PA システムだけで，会場全体に音声 ID を伝播することでき，音楽会場との親和性が高い

・マイクとスピーカがあればよいので，スマートフォンなら単体で完結でき，また，WiFi などのように特別な設定をする必要がない

・DTMF の解読は高速フーリエ変換による周波数解析のみで可能であり，ID の生成は 2 つの周波数の音を発生させるのみであるため，スマートフォンをはじめ幅広いプラットフォームに対応できる．ID の生成だけなら，数百円程度のワンチップマイコンで実装できるため，コンサートグッズ的なガジェットの試作も行っている

・エンコード/デコードが簡単であるため，ID に対する応答速度が速く，楽曲との同期が取りやすい

ただし，以下のような欠点もある．

・ホワイトノイズのような全周波音に対して脆弱であり，誤動作をすることがある

・ID が単純であるため秘匿性が低く，ID を解読されてしまわれやすい

主なプラットフォームとして利用している iOS デバイスについては，iPhone3GS 以降のすべての iOS デバイスで 20000Hz までの認識と再生できることを確認しているため．iOS デバイスに関しては AppStore によるアプリ配布で誰にでも使えるようになっている．

4.2 DTMF の構成

これまでのシステムでは，17000Hz から 20000Hz を 500Hz 毎の音声として DTMF を構成し，合計 12 個(4 行×3 列)の ID を構成していたが，今回は，参加型音楽作品として楽曲を構成するにあたり，楽曲の一部となる音声のためにより多くの ID を必要としたことと，楽曲になるべく影響を与えないようにするため周波数をこれまでより高くしたいという２つの要件を満たすため，以下のような条件により USC を構成し USC Ver.2 とした．

・周波数の 250Hz 間隔とすること

・18000Hz 以上の周波数を使うこと

したがって，18000-20000Hz を 250Hz 単位で 16 個（4 行×4 列）のテーブルとなるような DTMF とした．

© 2014 Information Processing Society of Japan

表 1 に DMTF の構成をしめす．数字は ID 番号である．

表 1　DTMF ID 構成

Table 1　DTMF ID List

	19000Hz	19250Hz	19500Hz	19750Hz
18000Hz	1	2	3	4
18250Hz	5	6	7	8
18500Hz	9	10	11	12
18750Hz	13	14	15	16

16 個の ID のうち，前半の 8 つを会場内に配置した iPad2 から発生する音声，後半の 8 つを観客の持つ iPhone から発生する音声用に割り当てている．

5. 演奏システム構成

演奏するためのシステムは，パフォーマが演奏する楽曲を鳴らす PA 用スピーカ，会場内の配置された iPad2 とパワードスピーカ，観客の持つ iPhone 等により構成される．iPad2 と iPhone には，ほぼ同様でだが反応する USC の ID 番号と発生する音声が異なるプログラムが実装されている．なお，iPhone 向け，つまり観客向けのプログラムは，イベント用のアプリとして AppStore にて公開して配布している．システム概要図を図 1 に示す．

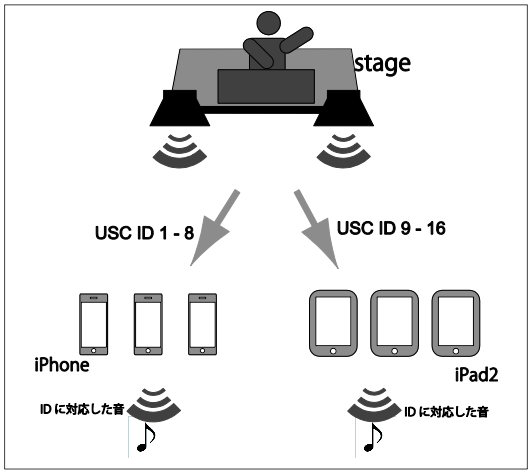

図 1　システム概要

Figure 1　Summary of system

iPhone 等は，USC ID1 から ID8 を受け取ると，ID に対応した音楽（楽曲の断片）を再生し，iPad2 は USC ID9 から ID16 を受け取ると ID に対応した音楽を再生する．

パフォーマは，USC の音声 ID を含んだ楽曲を演奏することで，会場で発する音声（iPad2 の音をパワードスピーカで再生），観客の発生する音声（iPhone 等の音を観客が手元で聴く）を制御し会場全体を包み込むような音楽空間を構成する．これらの楽曲は予め，USC ID を含めて作曲してあるが，必要に応じてリアルタイムで制御することもできる．iPad および iPhone のアプリは，iOS6.1 上に Objective C による書かれたプログラムにより実装されている．

6. 作品"Sense Of Space"

作品は，2013 年 9 月 7 日に，現代美術の展覧会である「岐阜おおがきビエンナーレ」のオープニングライブである「NxPC.Lives」にて実演された．情報科学芸術大学院大学の校庭に簡易ステージを設営し会場としている．演奏時間は 19:30-20:20 までの約 40 分である．図 2 にステージおよび iPads の配置図を図 3 に設営時の写真を示す．会場にはメインとなる PA として d&b のメインスピーカおよびウーファを 2 チャンネル分と，iPad2 に M-Audio のパワードスピーカを接続したものを 6 台設置した．iPad2 のパワードスピーカの向きは，観客エリアの中心に向けられており，この間で iPhone 等を持って鑑賞することで，最も良い効果が得られるようにしてある．設営時には小雨が降っていたため保護用に透明なビニールシートを被せてあるが，本番ではこれらは外している．

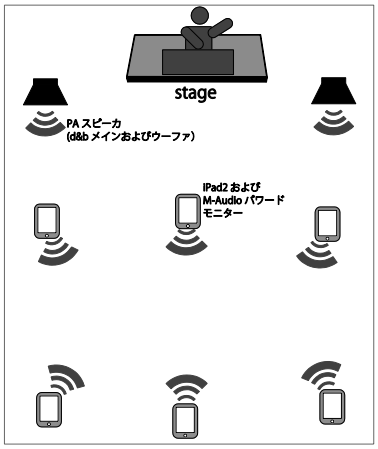

図 2　ステージ配置

Figure 2　Layout of the stage

図 3　設営風景

Figure 3 Scene of setting up

iPhone 用のアプリは，事前に AppStore にてイベント情報用のアプリ「NxPC.App」[18]として公開してあり，このア

© 2014 Information Processing Society of Japan

プリ内のコンテンツとして，「Sense Of Space」を体験できるようになっている．図 4 にアプリの画面例を示す．左の画面が起動時に表示されるメニューとなっている．中央の画面は，”info”ボタンを押したときに表示されるものである．右の画面は，Sense Of Space 実行時のもので，USC ID を認識すると画面上の矩形が振動し同時に音楽を再生する．なお，画面デザインは，Jose Maria Campana Rojas が担当した．

図 4　アプリ画面例
Figure 4　Screenshots of app

途中で小雨が降るなどのトラブルはあったが，ライブの参加者は 60 名程度，iPhone アプリを起動し積極的に鑑賞した観客は 10 名程度だった．

7. 考察

屋外でのイベントであったため，途中雨により iPad2 およびスピーカ類にカバーをかけなくてはならなくなるなどトラブルもあり，完全な形では実現できなかった．しかし，会場内に配置された iPad2 から発生する環境音的な音声が会場に広がり演奏と混ざっていく状況や，さらに手元の iPhone から音声がそこに混ざっていくことで，楽曲に参加していく感覚はある程度実現できたと考えている．ライブ参加者に簡単に感想を聞くことができたが，特に音楽をやっている人には，体験としての面白さや演奏としての可能性を感じてもらえたと思われる．これらについては，完全な形で演奏を行なった上で意見を得ることにより，体験としての可能性を確認していきたい．

パフォーマおよび作曲を行う側からの意見としては，まずはシステム上の問題として iPad2 および iPhone から発生する音声が途切れてしまうことが挙げられた．応答性を良くするため，USC ID がなっている間だけ音声を発生するようにしたため，PA からの音声が途切れると発生する音声も途切れてしまっていた．今回は屋外での演奏であったために特にこの症状が顕著に発生してしまい，楽曲としての質を損なうことになってしまった．また，会場全体が演奏空間となるため，会場に配置した iPad の音量の調整が必要だが，パフォーマ自身が演奏しながらモニターすることが難しく，なかなか最適な音声のバランスを設定するところまで行くことができなかった．通常の PA とは違う音響設定がパフォーマ自身により必要となるため，設営にも時間と調整が必要であることがわかった．

8. まとめ

高可聴域音を利用した音声 ID により観客参加型の音楽作品を実現し，新たな音楽体験として可能性があることを確認した．楽曲としてもシステムとして，必要な要件が多く準備に時間がかかるため，まだ一度の実験を行ったのみであるが，さらにシステムを改良し楽曲としての質の高い演奏を実現していく予定である．まずは次回の実演では，音声の跡切れを解消したシステムにより，楽曲として完成度を高めた演奏を実現したい．今回の実験では，音楽に注目したかったため，USC ID に応じた画面変化など映像表現や観客や会場からのインタラクティブな関与を除いてあるが，これらとの相乗効果を狙った展開も考えていきたい．

参考文献

1) NxPC.Lab: http://nxpclab.info
2) 白井大地，白鳥啓，岡村綾子，平林真実: iPhone による観客と VJ のセッションシステム，インタラクション 2011，インタラクティブ発表, 2011
3) 當間忍，清水基，大総佑馬，藤吉功光，平林 真実: CJmix (Cloud media Jockey Mix)，インタラクション 2011，インタラクティブ発表, 2011
4) 清水基，平林真実，ビュトナー・クレメンス，赤松正行: 高可聴閾音を利用した DTMF 通信によるアーティストと観客のインタラクションの実現，インタラクション 2012，インタラクティブ発表, 2012
5) Masami Hirabayashi,, Motoi Shimizu :Cryptone: Interaction between Performers and Audiences With Inaudible DTMF Sounds, SIGGRAPH ASIA 2012 Emerging Technology, Article No.5, 2012
6) 平林真実，清水基: Cryptone:音楽会場におけるパフォーマと観客の相互インタラクションのためのシステム,インタラクション 2013,インタラクティブ発表,2013
7) 平沢進: http://noroom.susumuhirasawa.com/modules/artist/content0001.html
8) Plastikman: iPhone Application SYNK, AppStore, 2010
9) Aphex Twin Face Mapping at London Electronic Festival: http://www.youtube.com/watch?v=rGosqmf-740
10) Xylobands:http://xylobands.com/glowbands-product_info.php
11) KDDI, au FULL CONTROL YOUR CITY: http://www.au.kddi.com/odoroki/
12) The SINE WAVE ORCHESTRA: http://swo.jp/
13) ヤマハ株式会社: 音を使った新しい情報発信 INFOSOUND http://research.yamaha.com/network/infosound/
14) Sonic notify : http://sonicnotify.com/
15) PERPLES: SoundTAG: http://www.perples.com/en/
16) Smart Sonic Communication: http://www.yamagata-corp.jp/ssc/
17) 松岡保静，中島悠輔，吉村健: 可聴帯域における音波情報伝送技術 : 音響 OFDM,, 電子情報通信学会技術研究報告. EA，応用音響 106(125), 25-29, 2006
18) NxPC.Lab: iPhone Application “NxPC.App”: https://itunes.apple.com/jp/app/nxpc.app/id588340738

© 2014 Information Processing Society of Japan