

公共空間での実利用を想定した「しゃべる」バス路線案内システムの 提案とその開発

山本 大介¹ 加藤 りか¹ 田中 亮佑¹ 高橋 直久¹

概要: 本論文では、音声対話技術や Web マップ技術等を活用した、バス停型バス路線案内システムを提案する。バス路線マップを備えた電子地図や分かりやすい音声案内を実現すると同時に、ゆるキャラの表示や表現豊かな感情音声合成技術を搭載するなどしてバス停の魅力を高めることにより、バス停自身が旅行者や地域の住民にバスの利用を促す仕組みを持つ。同時に、バス停付近にある観光施設や店舗の案内も実現する。さらに、提案システムを公共空間での実利用を想定した時に想定される課題に対処するために、Focus+Glue+Context マップなどの電子地図を活用したバス路線案内の仕組みや、ユーザ生成型の音声対話システムの仕組みを活用した路線案内の仕組み、路線の描画方法などについても検討する。さらに、実証実験を想定したプロトタイプシステムの開発を行った。

Proposal and Development of ‘Talking’ Bus Route Guidance System for Practical Use in Public Spaces

DAISUKE YAMAMOTO¹ RIKA KATO¹ RYOSUKE TANAKA¹
NAOHISA TAKAHASHI¹

1. はじめに

本研究では、地域に根差した社会基盤の一つである「バス停」および「バス路線」に着目した。市バスに代表されるバス路線は、その重要性に反して、財政的な問題で衰退の危機にある。比較的人口密度の高い名古屋市であっても、無料の敬老バスを発行するなどの形で、100億円以上の補助金が投入されなければ維持できないのが現状である。また、都市部のバス路線は路線数が100以上あるなど、経路や時刻表が複雑で本質的に分かり難く、旅行者や外国人はもとより、地域の住民であっても、事前の下調べ無しで容易に利用することができない。バス路線を維持・発展させるためには、より多くの人たちが手軽に利用できる仕組みが必要であろう。

そこで、本研究の目的は、音声対話技術や Web マップ技術等を活用した、デジタルサイネージ型の「しゃべる」バス停を開発することにより、バス停自身が旅行者や地域の住民に対して、バス路線の利用を促す仕組みを実現することにある。これにより、バス路線の利用率が向上する（＝収益が改善する）と同時に、人々の往来を促し、地域の活性化にもつながると考えた。バス停と関連付けて地域の観光情報も同時に登録できる仕組みを備えれば、より地域活性化に貢献できるであろう。そのためには、見やすい路線マップや分かりやすい音声案内を実現するだけでなく、ゆるキャラの採用や表現豊かな感情音声合成技術を搭載するなど、バス停に人々を惹きつける魅力を高めることも重要である。

しかしながら、提案手法を社会実装するためには多くの課題が存在する。本研究では、特に、公共空間での実利用を想定した時に課題となる、以下の3つの課題に関して研究開発を行っている。

課題 1. 既存の多くの路線案内に関する研究や応用システムは、同時に一人のユーザしか利用しないことが基本である。しかしながら、公共空間での利用を想定した場合、複数のユーザが同時に閲覧することが想定される。そこで、バス停などの公共空間での利用を想定した分かりやすい路線マップの表示法が課題となる。

課題 2. 地域の情報を分かり易く、かつ、魅力的に伝えるための有効手段の一つとして、音声や画像を用いて伝えることが有効であろう。そこで、音声インタラクションシステム構築ツールキット MMDAgent[11]と、電子地図を活用したバス路線案内システムを連携する仕組みが課題となる。

課題 3. 地域の観光情報や施設情報を、地域の人たち自身が手軽に登録できる、ユーザ生成の仕組みを実現することが有効であろう。そこで、Web ブラウザなどを用いて観光情報を登録できる仕組みが課題となる。その際、単に音声で伝えるだけでなく、画像や地図と組み合わせること、バス停と施設を関連付けることが重要であろう。

これらの提案技術の開発に加え、上記を実現するための扱いやすいデジタルサイネージのハードウェアの開発や、プロトタイプシステムの作成も行った。

2. 提案システムの概要

本研究で述べる「バス停」には、以下の機能を備えてい

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻 Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology.

ると仮定する。一つは、デジタルサイネージ（大型ディスプレイによる広告配信）機能を備えていること、もう一つは、IoT などに代表されるネットワーク接続機能や各種センサーを有していることである。大型ディスプレイはコストが高いと思われがちであるが、すでに、駅や公共空間などに多数のデジタルサイネージが設置されている現状が示すように、広告モデルとして成り立っている。バス停機能や音声対話システムの機能を持たせたとしても、追加コストはマイクなど、わずかであり、実現性は高い。

バス停における広告配信ビジネスモデルの例として、図 1 に示すように、MCDecaux 社によるバス停の設置の例が挙げられる。現在は、大型ディスプレイによる広告ではないが、将来的に、大型ディスプレイがより安価になれば、置き換えられる可能性が高い。その際、バス路線案内機能を組み込めば、利便性がより高まると考える。

提案システムが備えるべき機能としては、図 2 に示すように、現在地にあるバス停から、任意のバス停までの乗車時間を地図上に表示し、待ち時間、および、次に乗るべきバスの系統名などを表示可能にすると良い。そのためには、市バスに GPS や通信機能が必要であるが、例えば、名古屋市では、すべての市バスに GPS 機能が備わっており、実際に、スマホを用いた市バスのリアルタイムの接近情報などを取得可能なサービスを提供している。

本研究では、特に、電子地図を活用したバス路線案内と、音声対話を利用したバス路線案内を有するバス停の仕組みについて提案する。



図 1 広告モデルに基づくバス停の例。写真のバス停は MCDecaux 社によって、設置・運用されている。強化ガラスやバックライト付きポスター広告などデザイン性の高いバス停であるが、自治体等の設置コストは無料で運用されている。



図 2 バス路線案内機能の想定画面例。現在地にあるバス停から、任意のバス停までの乗車時間を地図上に表示し、待ち時間、および、次に乗るべきバスの系統名を表示。

3. 電子地図を活用したバス路線案内

Google Maps などの Web マップサービスや、交通局や交通各社が提供するバス路線案内サービス¹が示すように、既に、多数のバス路線案内システムが実現されている。これらの既存のシステムを、そのままバス停などに設置すればよいと考えるかもしれないが、課題 1 で述べたように、いくつかの課題が存在する。特に、スマートフォンアプリや Web サービスなどの既存システムでは、同時に一人しか利用することを想定しておらず、パブリックな空間で複数の人が同時に閲覧・利用するような状況を想定していない。そこで、課題 1 を解決するために、電子地図を活用したバス路線案内の仕組みについて検討した。

3.1 バス路線図の描画

名古屋市のような都市部のバス路線の路線図は、図 3 に示すように、一つの道路に対して 10 以上の路線が並走しているなど、とても複雑である。そのため、バス路線案内を実現するためには、分かりやすいバス路線図の描画が必要であるが、その実現は一般に難しい。この問題を解決する方式として、単純化された概略図を描画する方式[1][2]や、電子地図の実際の道路に描画する方式などがある。前者は、路線図が見やすい利点があるが、地図上のランドマークや道路との接続関係や位置関係が分かり難しく、地域の施設情報の位置を同時に案内する目的には扱いにくい。そこで、本研究では、後者のバス路線を電子地図上に描画する方式を採用した。

そこで、図 4 に示すように、我々は複数のユーザのバス路線検索結果（路線図、および、時刻表）を 1 つの画面で統合表示する仕組みを新たに開発[3]してきた。その際、同一の道路上を複数の経路が表示されるときに、それを認識し、互いに経路をずらして描画することによって、重なら

1 例えば、名古屋市交通局が提供する市バス案内サイト <https://www.kotsu.city.nagoya.jp/jp/pc/bus/> などがある。

ないアルゴリズムを採用している。

地図データとして、フリーの地図である OpenStreetMap を採用した。これにより、Google Maps や Yahoo 地図などといった商用地図を利用する際に問題となる、著作権の問題を回避した。開発したシステムの画面を図4に示す。この例では、「妙見町」のバス停にシステムが設置されたことを想定し、「金山12系統」と「八事11系統」の2つのバス路線系統を対象としたシステムを開発した。ただし、現状では、2つの路線のみを扱っており、図3で示すような、非常に複雑なバス路線を地図上にわかりやすく描画するには至っていない。



図3 複雑なバス路線マップの例。1つの道路に対して複数のバス路線が走っているなど、とても分かり難い。



図4 バス路線図の描画例。複数の経路(緑色, 赤色, 黄色)が互いに重ならないようにずらして表示する)

3.2 Focus+Glue+Context マップを用いた地図表示

地域のバス路線の全体を俯瞰するためには、その地域の全域が表示できる広域の地図で描画できると望ましい。その一方で、地域の施設情報を確認するためには、たとえば、降車バス停付近の詳細な(縮尺の大きい)地図が表示できると望ましい。従来の、個人用アプリでは、縮尺の拡大と縮小を繰り返して、全体の位置関係や、詳細情報を確認することができたが、同時に、複数人が閲覧するようなサイネージの場合は、そのような操作は望ましくないと考えた。なぜならば、縮尺の変更を伴う操作は、ほかの人の視認性

に多く影響を与えるからだ。

そこで、Focus+Glue+Context マップ[4][5]を用いた地図表示手法について検討した。Focus+Glue+Context マップとは、図5に示すように、Fisheye View 方式の地図表現手法の一つであり、広域の地図情報を示す Context 領域、縮尺の大きい注目領域を表示する Focus 領域、Focus 領域と Context 領域の縮尺差によるゆがみを吸収する Glue 領域からなる仕組みである。たとえば、旅行などの GPS データと連動させ、滞在した地域のみ Focus で強調して表示する[6]のような用途を考えている。Focus の形状は円だけでなく、様々な形状を実現可能[7]であり、また、複数の Focus を表示することが可能である。オープンソースの地図描画ツールである Leaflet の枠組みを拡張[8]して、Focus+Glue+Context マップを実現しており、高速かつ早い応答速度が実現可能であると同時に、地図上に、ピンやポリラインなどの配置も可能である。



図5 Focus+Glue+Context マップの例。虫眼鏡のように注目したい領域を拡大表示すると同時に、注目領域と周辺領域が接続領域をゆがませることにより道路ネットワークが維持されている。

3.3 時刻表の統合

既存のバス停には、路線毎に独立した時刻表が掲示されている。しかしながら、図3に示すように、大通りなどには複数の路線が並列して走っていることが多いため、現在地から目的地に到着する路線が1つ以上ある場合がある。そのような場合は、複数のバス路線の時刻表を統合して表示することが望ましい。複数のバス路線系統を横断的に検索することによって、系統や路線を意識しない検索を可能にした。バス路線の検索や時刻表の統合に関する研究[9][10]はいくつかあり、これらを参考にしている。

4. 音声対話を利用したバス路線案内

地域活性化を目的としたバス路線案内システムを実現するためには、地域の観光情報を効果的に紹介できる仕組みが重要であろう。そこで、音声対話システムの機能を組み合わせることが効果的であると考えた。

そこで、音声インタラクションシステム構築ツールキット MMDAgent[11]を拡張し、バス路線案内の仕組みと連携するための仕組みを実現した。具体的には、MMDAgentに

対応した新しいコマンド（命令）を開発し、TCP/IP 通信によって、MMDAgent とバス路線案内システムを連携動作させる機能である。これにより、音声対話システムと連携したバス路線案内が可能になった。

4.1 MMDAgent とは

音声インタラクションシステム構築ツールキット MMDAgent は、音声対話システムを実現するために必要な機能、たとえば、音声合成、音声認識、3D モデル描画、物理演算に基づく 3D モデル制御、対話制御などを統合したシステムである。Windows や Mac OS, Linux, Android, iOS など、PC だけでなく、スマートフォン[12]での動作が可能である。音声合成エンジンとして OpenJTalk を、音声認識エンジンとして Julius などの、オープンソース技術を採用しており、また、外部ネットワークやサーバに依存することなく、スタンドアローン環境で利用可能である。そのため、ネットワークの常時接続が期待できないバス停やデジタルサイネージ用途にも有効であろう。

MMDAgent は、FST(Finite State Transducer)形式の音声対話スクリプトと関連する素材、および、音響モデル・言語モデルに基づいて動作する。これらの音声対話スクリプトと関連する素材・モデルをまとめて音声対話コンテンツと呼んでいる。

FST スクリプトによる対話の記述例を図 6 に示す。FST スクリプトでは、各機能部(音声認識部、音声合成部など)から発生するイベントを入力、各機能部への命令コマンドを出力とした、状態遷移機械として記述可能である。図 1 の例では、音声認識機能部が「こんにちは」と認識すると、状態が 1 から 10 に変化する。続けて、モーション開始コマンド (MOTION_ADD), 音声合成開始コマンド (SYNTH_START)を出力し、状態 12 まで一気に遷移する。合成音声の再生が終了するまで状態 12 で待機状態になり、音声合成終了イベント(SYNTH_EVENT_STOP)が発生すると状態 1 に遷移する。FST スクリプトは、シーケンシャルな対話制御だけでなく、割り込み(バグインなど)や、文脈に応じた処理など、複雑な制御が可能である。

```

1 10 RECOG_EVENT_STOP|こんにちは <eps>
1 10 RECOG_EVENT_STOP|おはよう <eps>
10 11 <eps> MOTION_ADD|mei|greet|greet.vmd
11 12 <eps> SYNTH_START|mei|normal|こんにちは
12 1 SYNTH_EVENT_STOP|mei <eps>

```

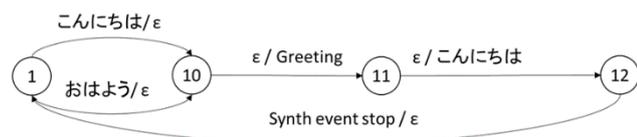


図 6 FST スクリプトの例 (上) とその状態遷移図 (下)

4.2 バス路線図との連携機能

MMDAgent のプラグイン開発機能を用いて、バス路線案

内機能との連携機能部を開発した。MMDAgent には FST に基づく対話制御機能が備わっているため、その対話制御機能を活かした形でバス路線や地図の制御が可能になれば、対話内容に応じて地図やバス路線が制御可能になる。

そこで、MMDAgent とバス路線案内システムをソケット通信 (TCP/IP) で接続する仕組み、および、その制御コマンドを新たに開発した。前者に関しては、一般的なソケット通信を用いたサーバクライアントシステムである。バス路線案内のための制御コマンドの例は以下の通りである。

`BUSROOT_ADD((alias 名))((乗車バス停))((降車バス停))`

このコマンドでは、乗車バス停から降車バス停までのバス路線の描画と時刻表を描画するように指示するコマンドである。描画成功すると、BUSROOT_EVENT_STOP コマンドが、通信などに失敗すると、BUSROOT_EVENT_ERROR コマンドが返ってくる。これらのコマンドを、施設紹介やバス停案内を表す音声対話スクリプトの部分に記述することで、音声対話コンテンツの一部として、バス路線案内システムの制御が可能になる。

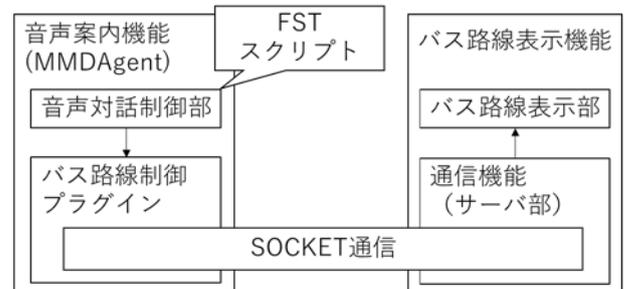


図 7 バス路線表示機能と音声案内機能の連携

4.3 音声対話コンテンツの登録

我々は、不特定多数のユーザが手軽に音声対話コンテンツを作成するための仕組みとして、Web ブラウザを用いた音声対話コンテンツ登録手法[13]、および、その実証実験サービスとして MMDAgent EDIT²を開発してきた。

MMDAgent EDIT では、ユーザは Google アカウントなど外部のアカウントでログインすることが可能である。Web インタフェースの対話登録画面を図 6 に示す。主要な項目として、キーワード、よみがな、対話文、声、表情、モーション、バルーンパネル、パネル画像からなる。キーワードは一問一答形式のキーワードであり、固有名詞などに対応できるように、「よみがな」をひらがなで記載する。対話文には、音声合成によって再生されるテキストを記載する。声は音声合成する際の声色を選択可能であり、表情とモーションは 3D キャラクタの動きを選択可能である。パネル画像を登録することによって、音声案内とともに表示される画像を入力可能にしている。データベースに格納された音声対話コンテンツの情報に基づき、FST を自動生成する。

² 音声対話コンテンツ作成サービス MMDAgent EDIT
<http://share.udialogue.org/agora/>

6. 関連研究

道路を利用した公共交通としては、1) タクシー、2) オンデマンドバス、3) 路線バスの3つの方式が利用・提案されている。タクシーは任意の地点から任意の地点に移動できるなど、移動の自由度が高い。その一方で、利用料金が高く、また、海外ではぼったくり被害など、運転手のモラルが問題となることがある。これらの問題を解決するために、近年、uberなどのSNS技術を応用したタクシー配車サービスや、Ride Sharing[15][16]などの仕組みが提案されている。路線バスは、利用料金が安いメリットがあるが、利用率の低いバス路線は赤字の問題や、バスの間隔が1時間～数時間など、長くなる傾向がある。タクシーと路線バスの問題を解決するために、オンデマンドバス[16]も提案されている。タクシーよりも利用料金が安く、路線バスよりも、乗車・降車位置の自由度が高い一方で、ほとんど普及していない。音声対話技術を活用したバス運行情報案内システムとしては、京都市バスの例[17]がある。

7. おわりに

本論文では、バス路線やその沿線地域の活性化を目的とした、バス停型のバス路線案内システムについて提案した。具体的には、音声対話システムの機能を有するバス路線案内システムを実現すると同時に、ユーザ生成の仕組みを用いて、地域の人たち自身が施設情報を示す音声対話コンテンツを登録できる仕組みを有する仕組みを提案した。その際、音声インタラクションシステム構築ツールキットMMDAgentのプラグイン機能を用いて、電子地図上にバス路線と時刻表を表示可能なバス路線案内システムを連携する仕組みを開発した。さらに、バス停をイメージしたデジタルサイネージ型のハードウェアの開発も行った。さらに、これらの提案技術に基づく、プロトタイプシステムの開発も行った。

今後の課題としては、バス路線マップにおける路線の描画手法の改善、Focus+Glue+Contextマップとバス路線マップの融合手法の実装とオープンソースでの公開、聞き取りやすい音声合成の実現が挙げられる。また、現状では十分な実証実験が出来ていないため、公共空間での実証実験を含めた様々な評価実験の実施をする予定である。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 26330136, 25700009, 科学技術振興機構CREST, および、総務省SCOPEの助成を受けたものです。ハードウェアの開発には株式会社フコク東海の協力を得た。

参考文献

- [1] Y. S. Wang and M. T. Chi, Focus+Context Metro Maps, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 17, no. 12, pp. 2528-2535, Dec. 2011.
- [2] J. Stott, P. Rodgers, J. C. Martinez-Ovando and S. G. Walker, Automatic Metro Map Layout Using Multicriteria Optimization, IEEE

- Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 17, no. 1, pp. 101-114, Jan. 2011.
- [3] 加藤 りか, 山本 大介, 高橋 直久, バス停留所におけるバス路線検索とその描画手法. Proc. of the DICOMO 2016, pp. 404-410, 2016.
- [4] D. Yamamoto, S. Ozeki, N. Takahashi, Focus+Glue+Context: An Improved Fisheye Approach for Web Map Services, Proc. of the ACM SIGSPATIAL GIS 2009, pp.101-110, 2009.
- [5] 山本 大介, 小関 章太郎, 高橋 直久, 道なり道路選別手法に基づく Fisheye View マップ総描手法, 電子情報通信学会論文誌, システム開発論文特集号, Vol. J93-D, No.10, pp.1914-1925, Oct. 2010.
- [6] P. M. Lerin, D. Yamamoto and N. Takahashi, Pace-Based Clustering of GPS Data for Inferring Visit Locations and Durations on a Trip, IEICE Transactions on Information and System, Vol. E97-D No.4, pp.663-672, April 2014.
- [7] 竹内 健祐, 山本 大介, 高橋 直久, Leaflet を用いた Focus+Glue+Context マップインタフェースの開発, Proc. Of the DICOMO 2017, 2017. (in press)
- [8] H. Mizutani, D. Yamamoto and N. Takahashi, A preventing method for overlapping focuses in a Focus+Glue+Context Map, International Journal of Knowledge and Web Intelligence, Vol.4, No.1, pp.50-69, 2013.
- [9] 川村 尚生, 菅原 一孔, バスネットワークのための実用的な経路探索システム, 情報処理学会論文誌 Vol.48, No.2, pp.780-790, 2007.
- [10] 吉村 元秀, 松田 佳奈実, 地図を用いたバス路線および時刻表検索システムの作成, 長崎県立大学研究紀要 Vol.15, pp.225-229, 2014.
- [11] 大浦 圭一郎, 山本 大介, 内匠 逸, 李 章伸, 徳田 恵一, キャンパスの公共空間におけるユーザ参加型双方向音声案内デジタルサイネージシステムの構築, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 1, pp.60-67, 2013.
- [12] D. Yamamoto, K. Oura, R. Nishimura, T. Uchiya, A. Lee, I. Takumi and K. Tokuda, Voice Interaction System with 3D-CG Human Agent for Stand-alone Smartphones, Proc. of the 2nd International Conference on Human Agent Interaction, ACM digital library, pp.320-330, 2014.
- [13] 山本 大介, 堤 修平, 打矢 隆弘, 内匠 逸, Web ユーザによる音声対話コンテンツ生成環境の構築と それに基づく実証実験の評価, 研究報告音声言語情報処理 (SLP) 2015-SLP-109 (21), pp.1-6, 2015.
- [14] K. Wakabayashi, D. Yamamoto, N. Takahashi, A Voice Dialog Editor Based on Finite State Transducer Using Composite State for Tablet Devices, Computer and Information Science 2015, Studies in Computational Intelligence, Vol. 614, pp.125-139, 2016.
- [15] Yaoli Wang, Ronny Kutadinata, Stephan Winter, Activity-based ridesharing: increasing flexibility by time geography, Proc. of the 24th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 1:1-1:10, 2016.
- [16] A. Mohammad, D. Dingxiong, S. Cyrus, D. Ugur and L. Yaguang, Price-aware Real-time Ridesharing at Scale - An Auction-based Approach, Proc. of the 24th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 3:1-3:10, 2016.
- [17] 中島 秀之, 野田 五十樹, 松原 仁, 平田 圭二, 田柳 恵美子, 白石 陽, 佐野 渉二, 小柴 等, 金森 亮, バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装, 土木学会論文集 D3, Vol. 71, No.5 pp.875-888, 2015.
- [18] 駒谷 和範, 上野 晋一, 河原 達也, 奥乃 博, バス運行情報案内システムにおけるユーザモデルを用いた適応的応答の生成, 情報技術レターズ, Vol. 2002, No.65, pp. 95-96, 2002.