

WiFi や Bluetooth を用いたスマートフォン向け

シンプル無線タグシステム (SNFC:Smart Narrow Field Communication) の開発

園田 侑輝¹ 富重 晃季¹ 荒川 豊² 田頭 茂明³ 福田 晃⁴

概要: 本論文では、スマートフォンに搭載された WiFi や Bluetooth といった通信用の電波を電子タグとして用いるスマート無線タグシステム (SNFC: Smart Narrow Field Communication) の開発について報告する。SNFC では、通信用の電波に割り当てられる識別子や MAC アドレスをタグとして用いることで、低コスト化を図るとともに、認識範囲が約 10~20m 程度と広くなり、従来の QR コードや NFC と比較して、一度に複数人がタグを読み取れるという利点がある。本発表では、開発した Android 用 SDK, iPhone 用 SDK, 並びに WiFi と Bluetooth の両方を発信するタグについて報告する。

1. はじめに

インターネット上には、ウェブページや動画などのデジタルコンテンツが多数存在し、それらは日々急激に増加している。例えば、youtube は同サイトにアップロードされる動画が毎秒 1 時間を越えたことを報告している。また、Google で調べることが可能な固有の URL 数は 2008 年に 1 兆を越えており、現状では Google がこれらデジタルコンテンツをネット上で見つける最善の方法であると考えられる。しかし、インターネット上に無数に存在するデジタルコンテンツの中から自分の欲しい情報を発見する手段として Google のみならず Pinterest のような画像共有サービスなど新たな手段が注目され情報の流れは多様化している。

一方で、CPS(Cyber Physical System) もまた注目されているトピックである。CPS とは、インターネット (Cyber system) と実世界 (Physical system) の融合を意味し、これらを結び付ける方法はいくらか存在する。例えば、Google Goggles は指定した画像データからその画像に関連するデジタルコンテンツを検索できるサービスである。また、セカイカメラや Layer といった AR (Augmented Reality) サービスは、ユーザの位置情報や向きからカメラに表示さ

れている実世界の上にデジタルコンテンツを重ねあわせるサービスである。

このような実世界とインターネットを結び付ける CPS の一つとして、設置場所に応じたコンテンツを表示するデジタルサイネージに焦点を当てる。第一世代のデジタルサイネージはインターネット接続のない、独立して動作するただの電子ディスプレイである。この第一世代のデジタルサイネージは、薬局やホームセンターの製品説明やデパートのフロア案内、電車内での広告表示など広く用いられている。そして、第二世代のデジタルサイネージではカメラを搭載し、そのカメラで目の前にいる利用者の顔認識を行う。そして年齢、性別などを推定し、その人にあった広告を表示することができるようになった。そして、第三世代になるとタッチパネルを搭載することによって利用者が画面操作を行えるようなインタラクティブなサイネージになった。利用者が表示画面の切り替えを行えるようになり、より有益なデジタルコンテンツの配信が可能となった。しかし、インタラクティブな第三世代デジタルサイネージが主流になる一方で問題も生じる。それは、タッチ操作が可能になったため一度に一人しか利用できず、利用効率が低下してしまうことである。そこで我々は、サイネージで閲覧できるコンテンツを自身のスマートフォン上で表示し、操作できれば利用効率は向上するのではないかと考えた。これは実世界からインターネット上へのダイレクトリンクであり、こうした理由から我々はデジタルサイネージを CPS の一つとし考えることにした。

こうした実世界からインターネット上へのダイレクトリンクはいくつかの手段で実現可能である。最も簡単な方法として QR コードが挙げられる。QR コードは最大で

¹ 九州大学大学院 システム情報科学府
Graduate School and Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
² 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute Science and Technology
³ 関西大学 総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University
⁴ 九州大学大学院 システム情報科学研究院
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

約 3000 バイトほどの情報を埋め込むことのできる 2 次元コードである。QR コードはポスターやチラシなどに印刷されており、既に一般的に利用され、コスト面から考えても QR コードは非常に魅力的なダイレクトリンクの方法の一つといえる。しかし、QR コードの読み取りは近付いてカメラでコードを撮影する必要があり手間である。また、ポスターに印刷された QR コードを読み取る場合、周囲の利用者の邪魔にならないように配慮する必要もある。QR コードに代わるものとして NFC が挙げられる。NFC の読み取りはタッチ操作であるため QR コードより簡単かつ高速に利用できる。NFC を利用して実世界とインターネットの連携を行うシステムとして GoldFish[1] という仕組みがある。GoldFish では NFC タグを読み取る動作をトリガーとして実世界の操作やコンピュータ上のアプリケーションを動作させることが可能である。しかし、NFC リーダは全てのスマートフォンに搭載されているわけではない。

QR コードと NFC の共通の欠点として読み取りに近接する必要がある点が挙げられる。この特徴は利用者がどのコンテンツに興味があり欲しているか決定できるのだが、同時に複数の利用者が同じコンテンツを取得したい場合この特徴は不便さを招く原因になる。従って、混雑するインタラクティブなデジタルサイネージのコンテンツを利用者全員に同時に提供するような状況には適していないと考える。

他のアプローチとして、建物内のユーザの絶対位置を利用した方法について考える。もしユーザのスマートフォンの絶対位置を知ることができれば、位置に関連したコンテンツを取得することができる。近年、屋内 GPS システムである IMES (Indoor MESSaging System) [2] や WiFi による屋内位置推定を利用した Skyhook や PlaceEngine[3] などのサービスによって、屋内でユーザの位置を推定することができる。また、WiFi のアクセスポイント (AP) は既に普及し、AP 本体も安価で導入できるものとなっている。加えて、スマートフォンは WiFi を標準で搭載しているため WiFi の位置推定システムは我々の目的に適しているように考えられる。しかし、屋内位置推定のためのインフラとして建物内に多数の AP を設置する必要があり高コストである。

本論文で我々がターゲットとしているのはデジタルサイネージにおける実世界からインターネットへのダイレクトリンク [4] である。他の位置情報に連携したアプリケーションではユーザの絶対位置を正確に推定することが求められるかも知れないが、我々はユーザがデジタルサイネージに対してどのような位置にいるかという大まかな相対位置を推定できれば良いだけである。

本論文では、我々が提案する実世界からインターネットへのダイレクトリンクシステムである SNFC (Smart Narrow Field Communication) の仕組みについて説明する。SNFC

は WiFi の AP 及び Bluetooth 機器の識別子をデジタルコンテンツのタグとして利用する。つまり、実世界に設置する AP 及び Bluetooth 機器に対しインターネット上のデジタルコンテンツを結びつけることになる。具体的に、AP 及び Bluetooth 機器のデバイス名 (SSID : Service Set Identifier), MAC アドレス (Media Access Control address), そして大まかなユーザの位置を知るために受信信号強度 (RSSI : Received Signal Strength Indication) をタグ情報として用いる。デジタルサイネージにタグとなる機器を設置した場合、そのタグを読み取ることでユーザはそのサイネージの目の前に存在することが分かる。また、クーポンを配布する目的で店舗にタグとなる機器を設置した場合、そのタグを読み取ることでユーザが店の中にいるかどうかおおよそ判断することができる。このタグ情報とデジタルコンテンツの関連付けはサーバで行われている。即ち、ユーザが周囲の電波情報をスキャンしサーバにアップロードすれば、サーバから対応するデジタルコンテンツの URL を取得でき、スマートフォン上で表示させることが可能である。また、重要な要素として導入コストが挙げられるが、既に無線 LAN 環境のある店舗などに SNFC を導入する場合、既設の AP をタグとして用いることができるため追加コストは 0 である。またそのような環境が整っていない場合であってもタグとなる AP や Bluetooth 機器は安価であるため低コストで導入できる。

我々は、SNFC システムを実現するために機器情報をタグとして登録するためのスマートフォン向け登録用アプリケーションの開発、また周囲の電波情報をスキャンしサーバにアップロードするプログラムを Android 及び iOS でライブラリ化し、そのライブラリを用いた簡単なスマートフォン向けタグ読み取り用アプリケーションの開発、またタグとコンテンツの関連を扱うサーバプログラムの開発を行った。さらに、将来的には WiFi と Bluetooth の電波を一つの機器で発信できるタグを想定しており、その試作として WiFi と Bluetooth の電波を同時に発信できるハードの開発を行った。また、読み取り用アプリケーションについては、Android 版は WiFi スキャンを利用し、iOS 版では WiFi スキャンが利用できないため Bluetooth スキャンを利用しているが、タグとなる機器が異なるだけでアプリケーションの振る舞いは変わらない。

本論文の構成は以下の通りである。第 2 章で関連技術について説明を行い、第 3 章で我々の提案する SNFC についてその構成及び動作について詳しく述べる。そして、第 4 章で SNFC の適用シーンを紹介し、第 5 章でまとめを行う。

表 1 関連技術の比較

分類	デバイス/メディア	精度/範囲	コスト	同時性	特徴
位置情報	GPS	～数十m	低	N	屋外のみ
	WiFi	～数十m	高	N	インフラコスト大
	音 (マイク)	～数十m	高	N	環境雑音に弱い
メディア情報	カメラ (QR コード)	十 cm ～ 数十 cm	微	1	印刷可
	NFC	～数 cm	低	1	リーダ搭載スマートフォン必須
	RFID	～数十m	高	N	スマートフォンで利用不可
	音 (マイク)	～数十m	低	N	コンテンツに音情報を埋め込む
	WiFi/Bluetooth	数m ～ 数十 m	低	N	我々の提案

2. 関連技術

この章では、実世界のコンテンツとインターネット上のデジタルコンテンツとをダイレクトに結びつける仕組みに関する既存の技術について説明する。以下で説明する技術には主に位置情報を基にした技術とメディア情報を基にした技術とに分けられる (表 1)。まず、位置情報を基にした技術としては、GPS、WiFi、音が挙げられる。GPS はほぼ全てのスマートフォンに搭載されているセンサで、位置情報に連携したサービスやアプリケーションにおいてごく一般的に使用される。しかし、GPS の信号が届かない屋内では利用できない。また、WiFi を用いた屋内位置推定技術 [5] に関してはこれまで多く研究されてきており、既にこれらの研究がコンシューマサービスに繋がっている。日本では、Koozyt 株式会社の PlaceEngine が有名である。スマートフォンにおいて WiFi が一般的な機能となり、WiFi 屋内位置推定技術は便利となった。しかし、この屋内位置推定を利用するためには、推定エリアに予めインフラとして数メートル間隔で WiFi の AP を設置しなければならず、その測位精度を高めるためには設置する AP 数を増加する必要があり、結果コストが大きくなる。また、マイクを利用した音による屋内位置推定 [6] について、マイクは WiFi と同じく一般的なデバイスである。仮に、周囲の音が周波数や特殊音などいくらか特徴的である理想的な環境においては測位できるかもしれない。しかし、多くの場合正確な場所を推定することは困難であると考えられる。

これら位置情報を基にした技術に対して、メディア情報を基にした技術は非常に簡単である。その中でも、低コストで紙に印刷できる QR コードは最も有名な技術である。QR コードは最大で 2953 バイトの情報を埋め込むことが可能であり、デジタルコンテンツの URL を埋め込むことによって、実世界とネットのダイレクトリンクを実現することができる。NFC と比較した場合、QR コードはほぼ全てのスマートフォンで認識できる利点がある。しかし、QR コードは近づいてカメラで認識させる必要があるため同時に複数のユーザが利用する場合には適していない。また、NFC はタッチ操作で読み取りができるため QR コードよりも簡単である。加えて、NFC を用いることで GoldFish

のように実世界に対して双方向的な機能を実現することが可能であると考えられる。しかし QR コード同様、読み取りには近接する必要があるため同時に複数ユーザの利用には適していない。また、RFID も NFC と似た技術で、アクティブ RFID タグはタグに対し、リーダが数十メートル離れた距離でも認識することができる。しかし、リーダが一般的なデバイスではないという欠点がある。

同時に複数のユーザが利用できるという点を考慮するならば、音を用いたシステムと我々の提案する WiFi 及び Bluetooth を用いたシステムが同様に適していると考えられる。INFOSOUND [7] は YAMAHA が提案した音による実世界とネットのリンクシステムである。このシステムはテレビから出る音に乗せて、ユーザが聞き取れない (18kHz 以上) 信号を発信し、その信号をユーザのスマートフォンに搭載されたマイクで拾うことにより実現される。しかし、これはデジタルコンテンツ作成者が情報を埋め込むことができるようにする特別なエンコードシステムが必要である。これでは、YouTube にアップロードされている既存のデジタルコンテンツを再利用することができない。現在、実世界で見ることでできるデジタルコンテンツのほとんどは YouTube 或いは他のウェブサイトで見つけることができる。以上のことから、実世界とネットのダイレクトリンクシステムは既存のデジタルコンテンツを再利用できる必要があると考えられる。このことに加え、混雑した状況下での利用性を考えても我々の提案する WiFi 及び Bluetooth を利用したシステムが最も有用であると考えられる。

3. 提案システム

我々の提案する SNFC システムは同じエリアに存在するユーザに対して同時に、簡単かつ低コストで実世界からネットへのダイレクトリンクを実現することが可能である。この章では、SNFC システムの構成、及び動作の流れについて説明する。その後、我々が開発した Android 及び iOS の読み取り用アプリ向けライブラリと WiFi 及び Bluetooth を発信するタグについて紹介する。

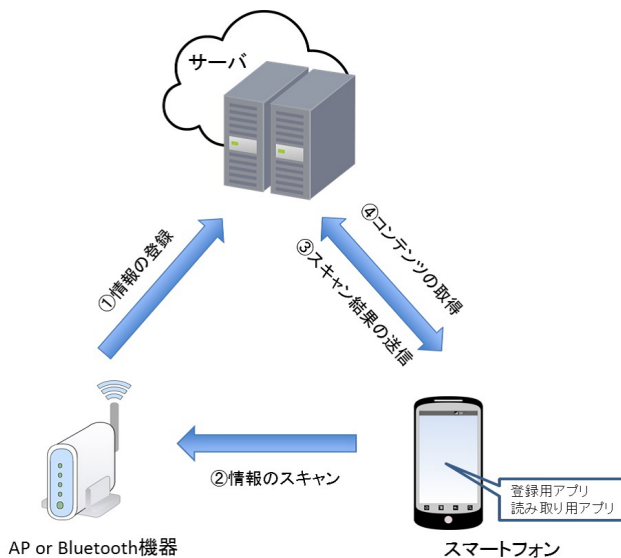


図 1 SNFC の構成

3.1 SNFC の構成

SNFC は、タグとなる AP 及び Bluetooth 機器、登録用アプリケーション、読み取り用アプリケーション、サーバの 4 つのサブシステムが連携することによって動作する。以下でその 4 つのサブシステムについて説明する。

3.1.1 AP 及び Bluetooth 機器

AP または Bluetooth 機器を無線のタグとして利用することで電波到達範囲内であれば一度に複数のユーザが読み取り可能になる。具体的に、SSID (デバイス名)、MAC アドレスをタグ情報として利用する。また、利用する AP や Bluetooth 機器は単なるタグとして利用するためビーコンさえ発信できれば良い。即ち、AP からインターネットへの接続や Bluetooth 機器とのペアリングを行う必要はないため設置が容易である。また、WiFi や Bluetooth の電波を発信する機器ならばタグとなり得るため、例えば、テザリング機能や Bluetooth を搭載したスマートフォン本体や Bluetooth マウスやヘッドホンなど多様な機器をタグとして運用することが可能である。現在、bluetooth のタグとしてロジテック社のぶるタグを利用している。この製品は Bluetooth4.0 Low Energy に対応しており、ボタン電池で約 2 年動作するため、そもそも電源確保の必要もなく小型であるためタグとして非常に魅力的であると考えられる。また Bluetooth Class2 で約 10 メートルのエリアをカバーできる。

3.1.2 登録用アプリケーション

登録用アプリケーションは、タグとなる AP 及び Bluetooth 機器の情報とデジタルコンテンツの URL をサーバに送信し登録要求を行う。

3.1.3 読み取り用アプリケーション

読み取り用アプリケーションは、Android 版と iOS 版でスキャン対象が若干異なる。まず、Android 版読み取りアプリケーションでは、WiFi スキャン、Bluetooth スキャンのどちらも可能であるが、基本的に WiFi スキャンを行うことを想定している。理由としては、既に街中や店舗、オフィス内などに無線 LAN 環境が整っている場所が多く、それらの AP をタグとして運用すればコスト 0 で導入できるためである。また、iOS 版では WiFi スキャンが許されていないため、代わりに Bluetooth スキャンを利用して実現させる。しかし Android 版の WiFi スキャンと異なる点は、ただスキャンする対象が WiFi の AP ではなく Bluetooth 機器に変わるだけである。従って、両アプリケーションの役割は同様に、周囲の AP や Bluetooth 機器情報をスキャンし、その結果をサーバにアップロードする。そしてサーバから返ってきたデジタルコンテンツを表示するというものである。

3.1.4 サーバ

サーバの役割は大きく 2 つに分けられる。1 つ目は、登録用アプリケーションからアップロードされたタグ情報とデジタルコンテンツを紐付けてデータベースに登録し保持する。2 つ目は、読み取り用アプリケーションから送られてきたタグ情報と一致するものをデータベースから検索し、その情報に紐付いたデジタルコンテンツをアプリケーションに返す。

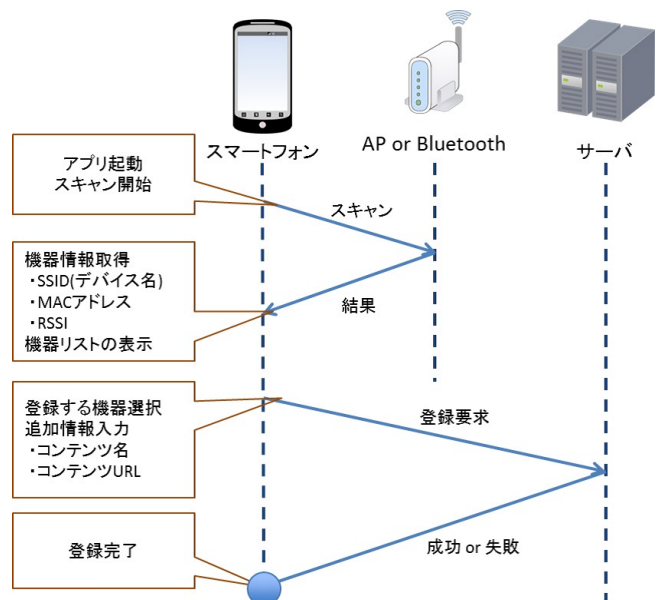


図 2 登録の流れ

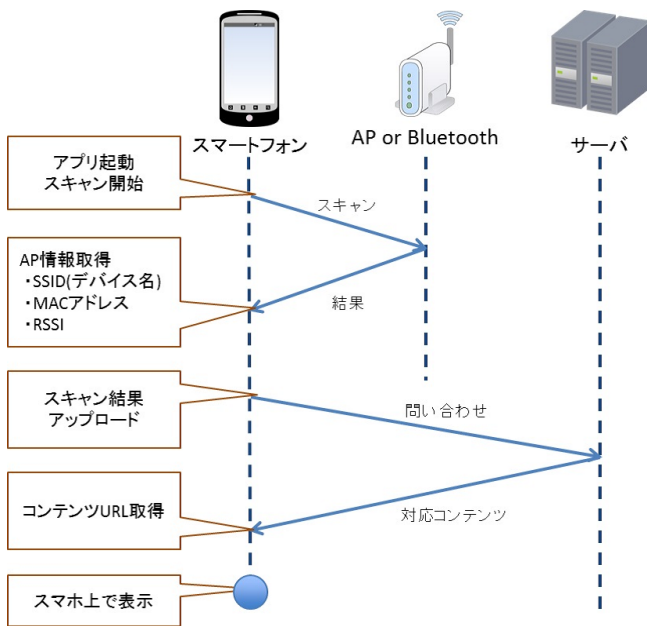


図 3 読み取りの流れ

3.2 SNFC の動作

SNFC の動作は主に登録と読み取りに分けられる。登録とは、事前にタグとなる AP 或いは Bluetooth 機器の情報とコンテンツを紐付けてサーバに保存することである。これを行うことで、それらの機器はタグとして動作するようになり、読み取り用アプリケーションによって読み取ることが可能となる。以下で登録と読み取りについてその動作の流れを詳しく説明する。

3.2.1 コンテンツの登録

ここで、タグとなる AP や Bluetooth 機器に対して任意のデジタルコンテンツを紐付けてサーバに登録するまでの動作を説明する。コンテンツを登録するまでの流れは図 2 に示す通りである。まず、タグとなり得る機器の周辺でスマートフォンにインストールした登録用アプリケーションを起動する。そうすると、起動をトリガーとしてアプリケーションでは周囲の電波情報をスキャンし収集する。ここでの電波情報とは、周囲に存在する AP または Bluetooth 機器の SSID (デバイス名)、MAC アドレス、そして RSSI である。そして次に、収集した機器情報をリストで表示する。この表示は RSSI を参照しその値の降順、つまりアプリケーションを起動したユーザにおそらく近いと推測される機器順にソートする。そして、ユーザはそのリストからデジタルコンテンツを紐付けたいものを選択し、追加情報としてコンテンツ名、デジタルコンテンツの URL を入力しサーバにアップロードする。サーバでは、登録用アプリケーションからアップロードされた情報をデータベースに保存する。以上がコンテンツ登録までの流れである。

3.2.2 コンテンツの読み取り

次に、登録したタグの読み取り動作について説明する。読み取りの流れは図 3 に示す通りで、まずタグとなる AP 及び Bluetooth 機器の周辺でスマートフォンにインストールした読み取り用アプリケーションを起動する。すると登録用アプリケーションと同様、周囲の電波情報 (SSID, MAC アドレス, RSSI) をスキャンし収集する。そうして収集した情報をまとめてサーバにアップロードする。サーバでは、読み取り用アプリケーションから送られてきたデータとサーバで保存している登録済みタグデータとで SSID, MAC アドレスが一致するものを検索する。そして、一致するデータが発見されたならば、そのタグに紐付いたデジタルコンテンツの URL をアプリケーションに返す。アプリケーション側では、サーバから返ってきたデジタルコンテンツの URL をブラウザ表示する。また、仮にスキャンした機器リストのうちサーバで登録済みのタグが複数存在した場合は、該当したタグの中で最も RSSI の値が大きいもの (最もユーザに近いと推測されるもの) を選択しアプリケーションに返すようにしている。ただし、スキャンしたエリア内に登録済みのタグが複数存在する場合の振る舞いは SNFC システムを適応する環境によって変更すべきであると考えている。上記はあくまで一例であり、例えばタグとなる機器が数メートルエリア内に多数存在する場合、最も近いコンテンツを RSSI 値から 1 つに絞るのではなく、読み取ったタグのコンテンツ名をリストで表示し、ユーザに閲覧したいコンテンツを選択させるほうが適していると考えられる。

3.3 ライブラリと WiFi-Bluetooth タグ

次に、我々が開発した読み取り用アプリケーション向けライブラリと WiFi-Bluetooth タグについて説明する。

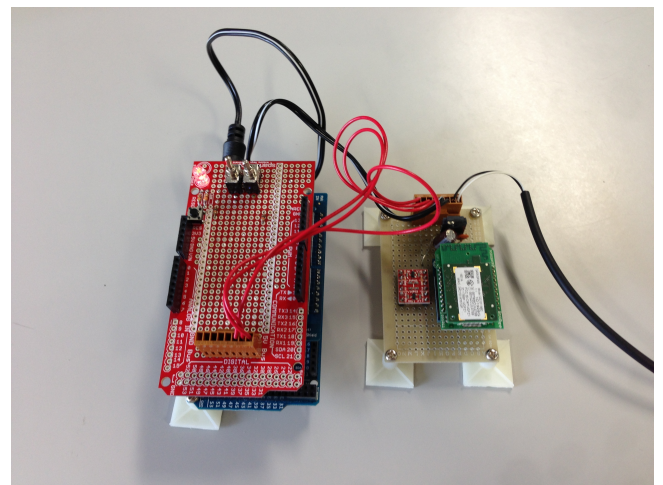


図 4 WiFi-Bluetooth タグ

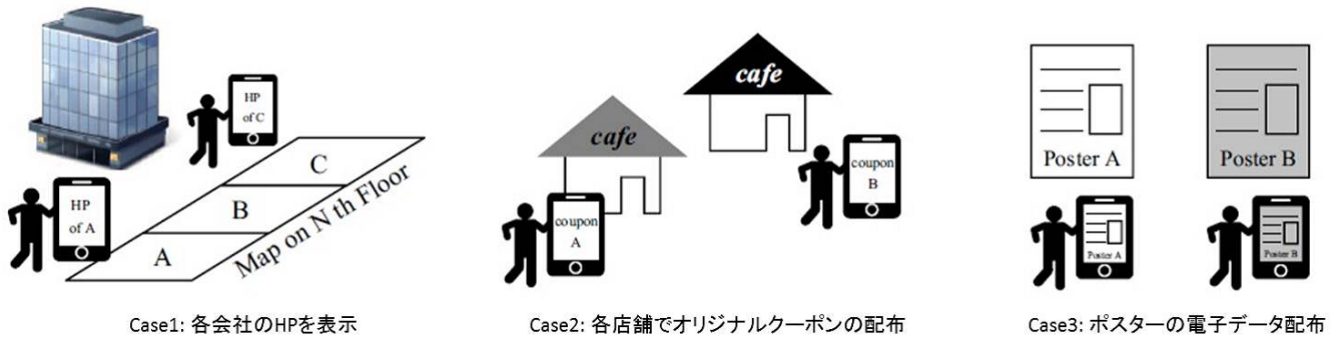


図 5 SNFC の適用例

3.3.1 読み取り用アプリケーション向けライブラリ

前述した通り、タグ読み取り用アプリケーションは SNFC を適用する環境によって振る舞いを変えたほうが良い。それに加え、デジタルコンテンツを提供する側の要求によってアプリケーションのデザインも変わってくると考える。そのため、我々はタグ読み取り動作の根幹である周囲の電波情報のスキャンとサーバにスキャンリストをアップロードするプログラムを Android 及び iOS でそれぞれライブラリ化した。これにより、SNFC における読み取り用アプリケーションの開発を簡単に行えるようにした。

3.3.2 WiFi-Bluetooth タグ

我々は、将来的には WiFi と Bluetooth の電波を一つの機器で発信するタグを想定しており、その試作として図 4 のような WiFi と Bluetooth を発信するハードを開発した。仕様は表 2 の通りで、ハードに取り付けている WiFi と Bluetooth に対応した 2 つのトグルスイッチを ON, OFF することで各電波を発信、停止することができる。最終的には、小型化し設置が容易なタグにすることを目指している。

表 2 WiFi-Bluetooth タグの仕様

	WiFi	Bluetooth
製造	Gainspan 社	RedBearlab 社
製品名	GS1011	BLE Shield
規格	IEEE802.11b	Bluetooth4.0 Low Energy

4. SNFC の利用

この章では、我々の提案する SNFC システムの適用例を紹介する。図 5 の Case1 では、1 つの建物に複数の会社が入っている環境である。このようなビルでは、各会社で無線 LAN 環境が整っていることが多く、それに加えほとんどの会社は自社のホームページを有していると考えられる。仮に、その建物内の会社に訪問し、その会社の情報を閲覧したい場合、多くの人は Google やその他の検索サイトを

利用しその会社のホームページを閲覧するはずである。しかし、SNFC を導入し、建物内の各会社が有する AP とその会社のホームページを紐付けて登録することによって、訪問者は各会社内で読み取り用アプリケーションを起動するだけでその会社のホームページを瞬時に閲覧することが可能になる。また、Case2 ではレストランチェーンで店舗毎に異なるクーポンやメニュー情報を配布する場合である。このように、その店舗が既に WiFi のアクセスポイントと独自のデジタルコンテンツを有している場合、我々の提案する SNFC は非常に低コストで簡単に導入することができる。Case3 は、印刷されたポスターや広告のデジタルデータをスマートフォンで取得する場合である。従来であれば、スマートフォンのカメラ機能でポスター自体を撮影して保存したり、ポスターに印刷されている QR コードを読み取ってデジタルデータを閲覧したりと手間が多い。しかし、ポスターにタグとなる機器を設置しておけば、ユーザはそのポスター情報をワンタッチで取得することが可能になる。この例の他にも、展示会や催し物の際に、その展示品の情報をパンフレットとして大量に印刷し、来訪者に配布することが多い。しかし、各展示品にタグを設置し、ユーザがスマートフォンで展示品情報を閲覧したり、展示会の入り口付近にタグを設置し、デジタルデータ化されたパンフレットを配ったりすることで、紙資源の削減が見込め、ユーザにとってもパンフレットで荷物が嵩張ることはなくなる。

5. おわりに

本論文では、低コストで実現可能な実世界からインターネット上へのダイレクトリンクシステムとして SNFC を提案した。WiFi による屋内位置推定を含む絶対位置を利用したシステムに比べ位置推定精度は低いですが、そもそも我々の目標とする実世界とインターネット上のダイレクトリンクにおいては、対象コンテンツとユーザの大まかな相対位置が分かれば良いため WiFi 及び Bluetooth の電波を用いたタグシステムを実現した。

SNFCにより、あらゆる AP や Bluetooth 機器をタグとし、そのタグにインターネット上の膨大なデジタルコンテンツを関連付けることが可能になる。また、コスト面から考えても WiFi の AP や Bluetooth 機器は安価であり、新しく設置する場合でも低コストで導入できる。そして、WiFi という広く普及したデバイスを用いることで QR コードの機能をより強化したようなシステムを実現することに成功した。QR コードと異なる点は、読み取りにカメラを起動してコンテンツに接近する必要がないということであり、SNFC では読み取り用のアプリケーションを起動するだけで簡単かつ瞬時に関連するデジタルコンテンツを自身のスマートフォン上に表示させることができる。

また我々が開発した読み取り用アプリケーション向けライブラリや WiFi-Bluetooth タグについて紹介した後、SNFC の適用例を挙げ、SNFC が実世界からインターネット上へのダイレクトリンクシステムとして非常に有用であることを示した。今後は実地での動作検証を経てさらなる改善を行う。

謝辞 本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業「移動体データ銀行で実現する次世代交通情報共通基盤アジアモデルの構築」の一環で得られた成果である。

参考文献

- [1] 橋下翔, 増井俊之, “GoldFish: JavaScript と Android NFC による実世界 GUI フレームワーク,” 情報処理学会インタラクシオン 2012, pp.867-870, 2012.
- [2] Manandhar, D., S. Kawaguchi, M. Uchida, M. Ishii, and H. Torimoto, “IMES for Mobile Users: Social Implementation and Experiments based on Existing Cellular Phones for Seamless Positioning,” In Proc. of International Symposium on GPS/GNSS, Tokyo, 2008.
- [3] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇, “PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤,” インターネットコンファレンス 2006, pp.95-104, 2006.
- [4] Yutaka Arakawa, Yuki Sonoda, Shigeaki Tagashira and Akira Fukuda, “WiFiTag: Direct Link from the Real World to Online Digital Contents,” P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing Conference, 2012.
- [5] 原田直弥, 田頭茂明, 荒川豊, 北須賀輝明, 福田晃, “無線 LAN 環境における主成分分析を用いたハイブリッド位置推定手法,” 電子情報通信学会論文誌, VOL.J93-D No.10, pp.1867-1884, 2010.
- [6] S. P. Tarzia, P. A. Dinda, R. P. Dick, and G. Memik, “Indoor Localization Without Infrastructure Using the Acoustic Background Spectrum,” In Proc. 9th Intl. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys' 11), pp. 155-168, 2011.

- [7] Yamaha, “INFOSOUND”, <http://research.yamaha.com/network/infosound/>