Wi-FiとBluetoothの連携によるトポロジ自動生成型情報配信方式の提案

大島 浩太[1,2]　中村 尚彦[2]

概要：高等教育の講義といった、ある空間内に密にスマートフォンを所持したユーザが存在する場合を対象とする情報配信システムを提案する。提案システムは、通信可能距離は長いが同時接続数が利用可能帯域や安定性に影響する Wi-Fi と、電波干渉の影響は受けにくい安定性を持つが同時接続台数に制限のある Bluetooth を連携するアーキテクチャを特徴とする。Wi-Fi を Bluetooth トポロジを管理・構築するための制御網とし、Bluetooth を配信網として利用する。制御網からの指示で配信網のトポロジを逐次切り替える方式を開発し、密にユーザが存在する空間内でのデータ配信を実現する。さらに、提案アーキテクチャにおいて、配信感情までの時間の効率化方式も提案する。提案方式を備えたプロトタイプシステムを開発し、有効性を検証した。

Information Delivery method based on the Cooperation of Wi-Fi and Bluetooth

KOHTA OHSHIMA[1,2]　NAOHIKO NAKAMURA[2]

1. はじめに

ICT 技術の利活用による教育の情報化に注目が集まっている。これまでの紙媒体の教科書と黒板への板書を中心に行われてきた教育は、PC 等の情報機器を活用したデジタル教材や教科書の併用、遠隔教育といった様々な形態を採るようになってきた。この動きは国内だけでなく、国外でも様々な取り組みがなされている。従来の教育の情報化では、PC やタブレットの 1 人/台の割り当てと、プロジェクタや電子黒板などのハードウェアとネットワーク環境の導入された教室の整備、教育支援ソフトウェアを導入したサーバの構築といった、実施組織における負担が大きいといった課題がある。この課題に対して、サーバ部分をクラウド化するモデルの提案と実証実験が行われている [1]。この取り組みでは、端末とネットワーク環境が整備された教室では十分に情報化された教育が可能であるが、全教室の即時整備はコスト面で難しいのが現状である。また、高度に情報化された環境は、ユーザに高い操作技術を要求する場合や、その教室固有の使用方法を習得する必要がある。

スマートフォンやタブレット端末に代表される、持ち運び可能で複数の無線通信方式に対応した端末 (スマートデバイス) の普及率は年々増加傾向にある。特にスマートフォンについては、2014 年の時点で 20 代の所持率が 94.1%との調査結果 [2] があり、高等教育を受ける学生の大半が所持している端末である。一方、ノート PC の所持率については、2013 年度の調査 [3] において、16〜19 歳が 58.0%、20〜24 歳が 76.4%と報告されている。また同調査におけるスマートフォンの所持率は、前者が 94.7%、後者が 97.8%となっている。スマートフォンは、Wi-Fi、Bluetooth、NFC などの豊富かつ複数の通信インタフェースを備え、また処理性能も年々向上している端末である。さらに、スマートフォンは PC と異なり、使用時に占有する空間が狭く、電源ボタンを押すだけでホーム画面がすぐに表示され使用開始状態にできる即時起動が長所である。

本論文では、これらの背景を受け、スマートフォンやタブレット端末を対象とする、高等教育の講義などでの利用を想定した、デジタル教材の配布システムおよび情報配信方

1 東京海洋大学
Tokyo University of Marine Science and Technology
2 埼玉工業大学
Saitama Institute of Technology

式を提案する。提案システムは、ユーザのシステム操作技術に依らずに利用できることを重視し、ネットワーク環境の整備を不要とし、スマートフォンさえ所持していれば利用できることを目標とする。目標の達成にあたり、スマートフォンの備える複数種類の通信機能に着目し、通信機能を連携する情報配信方式を開発する。具体的には Wi-Fi と Bluetooth の 2 種類を用途別に使い分け、それぞれを連携することで Wi-Fi と Bluetooth の短所を解消し、長所を活かすことで利用想定場面において効率的な情報配信を可能とする方式を開発する。提案方式では、講義室などの一定の空間内に密にユーザが存在する、電波干渉の影響が強い場面での利用を想定している。提案方式を備えたプロトタイプシステムを開発し、有効性を検証する。

2. 提案システム概要

提案システムの概要を**図 1** に示す。システムは、Wi-Fi と Bluetooth の 2 つの通信機能が利用できるスマートフォンやタブレット端末を所持するユーザと、通信機能として Wi-Fi が利用できる可搬型管理サーバの 2 種類で構成している。システムでは、まずユーザ (教員) が配布したいファイルを、Wi-Fi を用いて可搬型管理サーバに送信する。この時、可搬型管理サーバは Wi-Fi Access Point(AP) として稼働する。次にファイルを受信した可搬型管理サーバは、容量が大きなファイルを容量の小さな部分ファイルに分割する。これは、ファイル配布効率を向上するためである。その後、ユーザ (学生) の一部にそれぞれ異なる部分ファイルを Wi-Fi で配布する。部分ファイルを受信したユーザ (学生) は Bluetooth 通信のマスターとなり、マスターになっていない周囲のユーザ (学生) がスレーブとしてマスターに接続し、部分ファイルを受信する。その後、部分ファイルを受信したユーザ (学生) の一部が新しいマスターとなり、さらに周囲のユーザ (学生) に部分ファイルを配信する。Bluetooth によるこの伝搬を、全部分ファイルを受信するまで繰り返すことで、ユーザ (教員) からのファイル配布を実施する。

提案システムの通信制御は、Wi-Fi と Bluetooth のそれぞれの長所を活かし短所の影響を軽減することを目的としている。Wi-Fi は、通信可能距離は長いものの、同一ネットワークに所属する端末が同一チャネルを利用することから、同時接続台数の増加に応じてデータの伝送性能や通信成功率の低下が生じる。Bluetooth は、通信可能距離と通信速度は Wi-Fi に比べて低いものの、周波数ホッピング機能により電波干渉に強い通信が可能である。これらの長所と短所を考慮して、Wi-Fi 通信をユーザ (学生) へのファイル配信状況と各端末の周辺端末を管理する網として利用し、Bluetooth をファイル配布用の通信網として、異なる役割を割り当てて利用する。Bluetooth のピコネットには、1 台のマスターに 7 台のスレーブまで接続できると

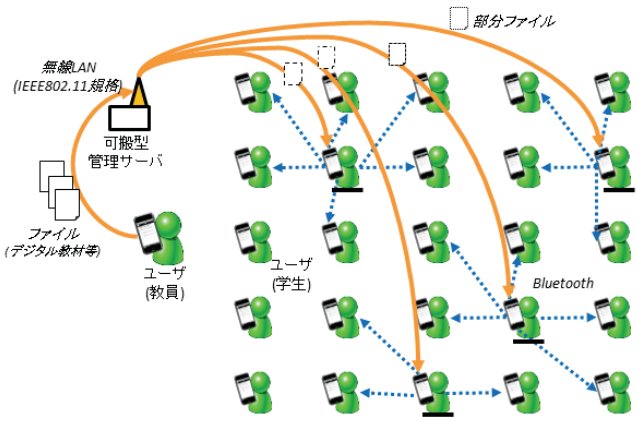

図 1 提案システム概要
Fig. 1 Overview of proposed Information Distribution System

いう制限があるが、Bluetooth 側のトポロジを管理サーバからの Wi-Fi 通信による指示で次々と変更していくことで、この制限を回避する。生成するトポロジは、通信可能なユーザ (学生) 群と各ユーザ (学生) が所持している部分ファイルに応じて管理サーバが決定する。通信プロセスやトポロジを複雑化させないようにするため、Bluetooth のスキャタネットや仮想 1 対多接続機能は利用せず、標準的な Bluetooth トポロジであるピコネットのみを利用する方針を採った。

提案システムは、Wi-Fi の同時接続台数に起因する性能低下の影響を軽減し、講義室などの限定された空間にいる高密度なユーザ群のスマートフォンに対する効率的なファイル配布を実現する点が特徴である。また、管理サーバをバッテリ等で稼働する可搬型にすることで、周囲のネットワークインフラを必要とせずファイル配信を達成できるという特徴もある。

3. 課題と解決方式

3.1 Wi-Fi と Bluetooth の連携アーキテクチャ

提案システムの実現にあたり、ファイルをどのような通信手段で配布するかが課題となる。IEEE802.11 規格の無線 LAN には、同一チャネルを使用する Access Point(AP) の乱立によるチャネル干渉問題や、AP のハードウェアに依存する同時接続可能端末数の限界 [4]、CSMA/CA 型通信に起因する通信端末数に応じた通信成功率や通信容量の低下といった通信の不安定さに関する課題がある。また、一部利用者による通信帯域の占有や、OS 等の更新に関する通信で帯域が占有されると、情報配信効率に悪影響がある。一方 Bluetooth は、基本的にマスター-スレーブ型の小規模なネットワークトポロジを採り、また電波干渉の影響を受けにくい周波数ホッピング機能により安定した通信が可能となる。しかしながら、講義における情報配信を行うには、生成できるピコネットでは同時接続台数面で不十分であり、またピコネット同士を接続するスキャタネットや

接続と切断を切り替えることで 7 台以上のスレーブに対応できる仮想 1 対多接続は、配信制御やトポロジ生成が煩雑化する恐れがある。

そこで本研究では、図 1 に示した、Wi-Fi と Bluetooth 通信を連携させることで講義室などの利用者が密に存在する環境下での情報配信を可能とするアーキテクチャを提案する。提案アーキテクチャの特徴は次のとおりである。

- 通信可能距離の長い Wi-Fi を利用することで講義室程度の広さの通信をカバー
- Wi-Fi 通信を Bluetooth 通信のトポロジ生成・通知用の制御用ネットワークとする、制御と配信の分離
- Bluetooth のピコネットをファイル配信に用いることでチャネル干渉の影響を低減
- ピコネットトポロジの逐次切り替えによる、単純なトポロジを用いたファイル伝搬

図 2 に、提案システムの動作フローを示す。実線の矢印は Wi-Fi 通信を、破線は Bluetooth による通信を意味している。まず、ユーザ (教員, 学生) の所持するスマートフォンでは、自身が Bluetooth で通信可能な周辺の端末情報をあらかじめ収集しておく。この時、RSSI も併せて記録しておく。次にユーザ (教員, 学生) は、可搬型管理サーバの SSID を調査し、Wi-Fi で AP として動作している管理サーバに接続する。この時、IP アドレスの配布を受ける。接続が完了したユーザ (教員, 学生) は、最初に収集した周辺端末情報を管理サーバに通知する。次にユーザ (教員) は、配布したいファイルを管理サーバに Wi-Fi で送信する。管理サーバは受信したファイルを一定サイズの部分ファイルに分割し、各ユーザ (学生) の周辺端末情報を考慮して、Bluetooth のマスターとなるユーザ (学生) に部分ファイルを送信する。次に管理サーバは、ブロードキャストを使って全ユーザ (学生) に次に構築するピコネットトポロジの情報を通知する。この通知を受信したマスター以外のユーザ (学生) は、通知により指定されたマスターに対して接続する。接続が完了したら、マスターはスレーブに対して部分ファイルを一斉配信する。一斉配信が完了したら、管理サーバに対して、どの端末にどのファイルを配布したかを Wi-Fi で通知する。管理サーバは、各ユーザ (学生) の部分ファイル保有状況と周辺端末情報を元に新しいマスターとトポロジを生成し、次に構築するピコネットトポロジの情報をブロードキャストする。このトポロジ生成から配信完了通知までの一連の動作を、全ての部分ファイルを全ユーザ (学生) が所持する状態になるまで繰り返すことで、ユーザ (教員) からのファイルを全ユーザ (学生) に配信する。

3.2 通信の効率化

講義を想定した教材ファイルなどの情報配信において、出席者全員への確実な配布と、講義時間を圧迫しないための迅速な配信が課題となる。前者については、前節で述べた可搬型管理サーバ上で配信状況を管理する方式で達成可能である。そのため、後者を達成できる方式の開発が必要となる。

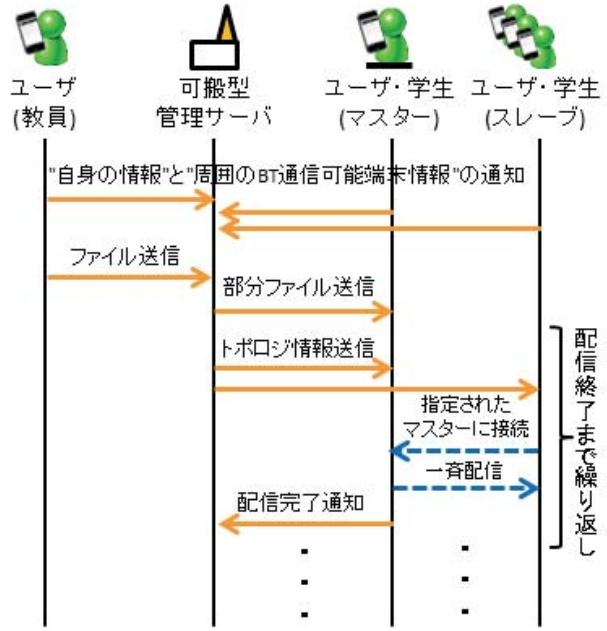

図 2 提案システムの動作フロー
Fig. 2 Flow of proposed Information Distribution System

前節で述べたネットワークアーキテクチャにおいて、通信が非効率になる要因として考えられることは、ユーザ (教員) が講義で配布するファイルの数と容量がその都度異なる点である。ピコネット単位でマスターからスレーブにファイルを配信する提案方式では、それぞれのピコネットで配信するファイル容量が異なると、ピコネットによって配信完了までの時間が異なる。結果、容量が小さいファイルを扱うピコネットは、容量が大きなファイルを扱うピコネットの配信完了を待つ必要が生じる。ピコネットを次々と切り替える本提案方式では、この待機時間は次のピコネットを構築する時間に影響する。待機時間を低減し、ピコネットの稼働率を向上することができれば、効率的な配信が可能になると考えられる。ピコネットのスレーブ接続台数の違いについては、マスターからファイルを一斉配信するため問題にならないと考えられる。

この課題の解決にあたり、ファイル容量の差が待機時間に影響を与えることから、ユーザ (教員) が講義で配布するファイル群を一定容量の部分ファイルに分割し、分割した部分ファイル単位でピコネットで配信する方式を採った。このようにすることで、各ピコネットの配信完了までの時間を均一化する効果が期待でき、通信しない待機時間の低減によるファイル配信完了までの時間の効率化が達成可能になる。

表 1　プロトタイプシステム仕様 (ユーザ端末)
Table 1　Specifications of prototype user terminal

項目	仕様
端末	Google Nexus5(OS: 5.1.1)
	Google Nexus6(OS: 6.0)
Wi-Fi	IEEE802.11a/b/g/n
Bluetooth	4.0
開発言語	Android SDK

表 2　プロトタイプシステム仕様 (可搬型管理サーバ)
Table 2　Specifications of mobile information server

項目	仕様
端末	Intel Edison(OS: Yocto Linux)
Wi-Fi	IEEE802.11a/b/g/n
開発言語	Java1.7.0_79
DB	SQLite3 3.8.6
AP	hostapd
電源	SparkFun battery block(400mAh)

3.3　トポロジの自動生成

部分ファイルを Bluetooth トポロジを切り替えながら伝搬させていく方式では、伝搬効率の高いトポロジを生成する必要がある。本研究では、プロトタイプシステムの開発にあたり、まず次の方針でマスターを選択するようにした。

- 多くの端末と接続可能な端末を優先的に選択
- RSSI が強い多くの端末と通信できる端末を優先的に選択

スレーブについては、自身が所有していない部分ファイルを所有かつ配信するマスターに優先的に接続する方針を採った。効率的なマスターの選択については、今後より詳細に検討する必要がある。

4.　実装と評価

4.1　実装

提案方式を備えたプロトタイプシステムの仕様を、**表 1**, **表 2** に示す。ユーザ端末は Android スマートフォンを利用し、開発したアプリケーションを導入した。可搬型管理サーバは Intel Edison を利用して構成した。Linux 端末を無線 LAN AP 化できる hostapd が利用でき、かつバッテリによる可搬性が達成できる点を考慮して選択した。DB は端末情報の管理用に利用した。

4.2　伝搬性能の評価

開発したプロトタイプシステムの動作検証を実施した。評価環境は、表 1 で示したスマートフォンを合計 10 台と、表 2 で示した可搬型管理サーバ 1 台の構成とした。この評価環境を用いて、特定のデータサイズのファイルの配信完了までの時間について、次の 2 種類のパターンで比較した。

(1) Bluetooth のマスター (ユーザ (教員)) にスレーブ (ユーザ (学生)) が接続し、各端末に順番にファイルを送信
(2) 各ユーザが図 2 の手順に従い、可搬型管理サーバからの指示で構成したトポロジを使って部分ファイルを送信

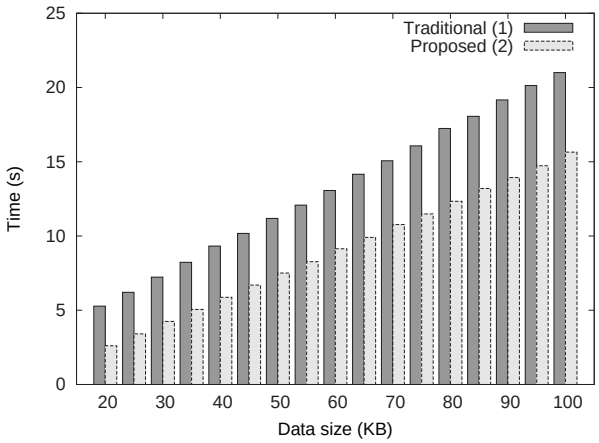

図 3　配信完了までの時間の比較
Fig. 3　Comparison in transmission time between traditional and proposed method

評価結果を**図 3** に示す。結果は、各パターンを 20 回試行した結果の平均である。結果から、可搬型管理サーバにおいてトポロジの生成とユーザ端末への通知を実施している提案方式の方が、通信完了までの時間が短くなっていることが分かる。提案方式 (パターン (2)) はファイルを配布するマスターが複数台になるのに対し、パターン (1) ではマスターは 1 台であるため、予想できる結果ではある。しかしながら、提案手法により配布端末の分散効果が達成でき、またピコネットの接続台数の制限を受けずに配信完了までの時間を短縮できていることが分かる。プロトタイプシステムを用いた結果では、約 27%の時間短縮ができていることを確認した。データサイズに対して通信完了までの時間が長くなっているのは、実装上の問題と考えられる。

5.　関連研究

メッシュネットワークと Bluetooth で構築した MANET という 2 種類のネットワークを使い分ける点を特徴とする、児童の見守りシステムに関する研究がある [5]。この研究では、物理的に近隣にいる児童の所持する端末の Bluetooth 機能を用いて局所的に MANET クラスタを構築し、クラスタの代表端末 (クラスタヘッド) が IEEE802.11b/g を使って構築したメッシュネットワークを用いて、クラスタの情報をサーバ等に配送することで児童の見守りを実現している。他にも、Bluetooth を用いた MANET による情報配信について、[6] や [7] がある。他にも、Blueooth を用いてコンテンツを DTN で配信する研究 [8] などもある。本論文では、所持率の高いスマートフォンの機能に手を加えないことで、ユーザのシステム操作技術に依存せずに情報配信

を可能とするシステムの実現を目指している。そのため、これらの研究とは異なり、一般的に広く利用されているBluetooth トポロジやルーティングに手を加えない方式を採った。

6. まとめ

本論文では、高等教育の講義などの密にユーザが存在する空間での利用を想定した、デジタル教材の配布システムおよび情報配信方式を提案した。ユーザのシステム操作技術に依らずに利用できることを重視し、ネットワーク環境の整備を不要とし、スマートフォンさえ所持していれば利用できることを目標とした方式開発を行った。提案方式は、Wi-Fi を Bluetooth トポロジを管理・制御するための制御ネットワークとし、ファイル配信を Bluetooth で行う、2 種類のネットワークを組み合わせたアーキテクチャと、Bluetooth のピコネットトポロジをファイルの配信状況に応じて逐次切り替える方式、このアーキテクチャに適した配信の効率化を特徴とする。また、バッテリで駆動する可搬性に優れるシングルボードコンピュータを管理サーバにすることで、周囲のネットワークインフラに依らずに利用できるシステム構成にした。提案方式を実装したプロトタイプシステムを用いて有効性を評価し、配信性能に優れることを示した。

今後は、トポロジの自動生成機能の最適化や配信性能の詳細な分析および効率化、実装システムの性能向上などを予定している。また、本論文では利用シーンを高等教育の講義でのファイル配信という用途で設定しているが、Bluetooth をデータ配信網として活用する場合であれば有効活用できる方式であると考えている。そのため、より幅広い用途を模索し、さらなる有効性を検証していく。

謝辞

本研究の一部は，科研費 (16K00138) の助成を受けている.

参考文献

[1] 総務省：平成25年度教育分野における最先端ICT利活用に関する調査研究報告書, 総務省 (オンライン), 2013, 入手先 ⟨http://www.soumu.go.jp/main_content/000301027.pdf⟩ (参照 2016-05-01)

[2] 総務省: 平成 26 年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書, 総務省情報通信政策研究所 (オンライン), 2014, 入手先 ⟨http://www.soumu.go.jp/main_content/000357570.pdf⟩ (参照 2016-05-01).

[3] 内閣府: 我が国と諸外国の若者の意識に関する調査 (2013 年度), 内閣府 (オンライン), 2013, 入手先 ⟨http://www8.cao.go.jp/youth/kenkyu/thinking/h25/pdf_index.html⟩ (参照 2016-05-01).

[4] 櫻田武嗣, 三島和宏, 萩原洋一: 仮想化基盤を活用した無線 LAN システムの刷新, 学術情報処理研究 Journal for academic computing and networking, pp.71-80, 2014.

[5] 森雄一郎，小島英春，河野英太郎．井上伸二，大田知行，角田良明: Android モバイルアドホックネットワークに基づいた自律構成可能な新世代児童見守りシステムの構築，電子情報通信学会第 11 回ネットワークソフトウェア研究会，pp.13 − 18，2010.

[6] Yuya Minami, Yuya Kitaura, Yuri Tsutsui, Eitaro Kohno, Shinji Inoue, Tomoyuki Ohta, Yoshiaki Kakuda: Implementation and Evaluation of Dual-Purpose Normal and Disaster Situations System Based on Delay and Disruption Tolerant Bluetooth MANETs, International Journal of Communications, Network and System Sciences, pp.342-357, 2015.

[7] 薮崎光, 坪川宏: Android を用いた Bluetooth MANET による同報通信の提案, 情報処理学会全国大会講演論文集 2013(1), pp. 261-263, 2013.

[8] N.S. Chen, Y.F. Chou, R.G. Cheng, S.L. Tsao: Multiple contents offloading through opportunistic communications, 12th International Conference on Telecommunications (ConTEL)2013, pp.65-70, 2013.