

卒業論文 2010 年度 (平成 22 年)

不安定な無線環境における実空間コンテキストに応じた
移動デジタルサイネージシステム

慶應義塾大学 環境情報学部

学籍番号 70747833

宮崎 圭太

不安定な無線環境における実空間コンテキストに応じた 移動デジタルサイネージシステム

電車やバス、タクシーといった移動体にデジタルサイネージを設置し、広告配信を実施することが近年に盛んになっている。移動体への広告配信において、位置情報と時間から特定されるコンテキストに応じたコンテンツを表示することは閲覧者により密接な情報を提供できるため有用である。しかし従来は、蓄積したコンテンツを表示するだけでコンテンツ自体を動的に選択・更新し配信することはあまり行われていなかった。移動体がコンテンツを配信する際に刻々と変化する位置情報に応じてコンテンツを取得表示しなければならないことと不安定な無線環境が取得の妨げになることがその一因である。移動体の経路上に通信が困難になる区域が存在する時、その区域ではサーバが持つ配信コンテンツのリストとの同期ができず、またサイネージシステムのコンテンツの取得の挙動が全体の取得効率の低下を招く。

本論文では、不安定な無線環境でのコンテキストに応じたコンテンツを配信する移動デジタルサイネージシステムを提案する。提案システムは通信品質に応じてコンテンツの取得・中断の制御を行いコンテンツの取得効率の向上を行うこと、表示部とは非同期に位置情報と時間に応じてコンテンツの選択・取得を行い不安定な無線区域で即時性を持ったコンテンツの取得表示ができることを特徴とする。開発したシステムは、地域 WiMAX 網を用いた大学構内巡回バスで実証を行い、コンテンツ取得の中断制御を行うことで巡回数あたりに取得できるコンテンツ数を最大 20.3 倍に増やせること、位置情報と時間に基づくコンテキスト特定方法を用いることでリスト順の取得に比べてコンテンツ取得から表示までの時間を最大 33%短縮できることを示した。

キーワード

1. 実空間コンテキスト, 2. 移動体通信, 3. デジタルサイネージ, 4. 非同期, 5. WiMAX

慶應義塾大学 環境情報学部
宮崎 圭太

Context Aware Mobile Digital Signage System in Unstable Radio Environment
--

Recently, digital signage system on public transportation systems are widely adopted. Displaying contents in accordance with the combination of location and time of transportation vehicle is effective for fine-grained advertisements. But conventional systems usually show only stored contents. Dynamic delivery of contents and play-list through a wide-area wireless network is challenging because practical radio environment is unstable, and as a result, results in delay and degradation of contents delivery.

This thesis proposes a context aware mobile digital signage system which features a prescheduled prefetch of contents in unstable wireless environment. Proposed system has two features. Firstly, a client application in transportation vehicle fetches its contents and its play list only where radio signal quality is good and stable. This mechanism is efficient to suppress wasteful contents requests and consequent waiting time. Secondly, the client application selects the fetching content such that the digital signage system shows the latest version contents. This is enabled by optimally allocating a primary and proxy fetching locations for a content. Proposed system is evaluated in our campus shuttle bus under a regional WiMAX network. It is shown that with the prefetch mechanism we can collect 20.3 times larger number of contents during one shuttle run. The context fetching with the location and the time provides 33% improvement in timewise.

Keywords :

1. Real-Space Context, 2. Mobile Communication, 3. Digital Signage, 4. Asynchronous,
5. WiMAX

Keio University , Faculty of Environment and Information Study
Keita MIYAZAKI

目次

第1章 序論	9
1.1 はじめに	9
1.2 本研究の目的	10
1.3 本論文の構成	10
第2章 移動体へのコンテンツ配信	11
2.1 コンテキストウェア	11
2.2 デジタルサイネージ	12
2.3 WiMAX	13
2.3.1 固定 WiMAX 及びモバイル WiMAX	13
2.3.2 地域 WiMAX	14
2.4 キャンパス内でのコンテンツ配信	15
2.5 本章のまとめ	17
第3章 移動体へのコンテンツ配信の課題	18
3.1 決められた配信時刻にコンテンツを表示する課題	18
3.1.1 取得するコンテンツを選択する処理時間の短縮化	18
3.1.2 コンテンツを取得する通信時間の短縮化	22
3.2 不安定な無線環境における取得可否の課題	23
3.2.1 取得効率の課題	23
3.2.2 非同期取得の必要性	24
3.3 本章のまとめ	25
第4章 本研究の関連研究	27
4.1 移動体へのコンテンツ配信	27
4.1.1 Content Distribution Network for Mobile Streaming Media	27

4.1.2	Web サービスの Content Delivery Network への適用	27
4.1.3	デジタルサイネージ向けの地域コンテンツの自動配信手法の提案	28
4.2	即時性を持ったコンテンツ配信	28
4.2.1	Selective Update Approach to Maintain String Web Consistency in Dynamic Content Delivery	28
4.2.2	実空間コンテキストに応じたコンテンツ配信	28
4.3	研究課題	29
第 5 章	アプローチ	30
5.1	不安定な無線環境におけるコンテンツの取得と中断の制御	30
5.2	取得コンテンツ選択	32
5.3	本章のまとめ	33
第 6 章	設計	35
6.1	設計概要	35
6.2	無線環境における取得開始と中断の制御	36
6.3	即時性を実現する取得コンテンツの選択	36
6.4	本章のまとめ	38
第 7 章	実装	39
7.1	SoKanKan Signage Web Manager の実装	39
7.2	SKKClient の実装	40
7.2.1	SKKClient の設備構成	40
7.2.2	SKKClient のモジュールの実装	40
7.3	本章のまとめ	44
第 8 章	評価	47
8.1	取得と中断の制御による取得効率の定量評価	47
8.2	即時性を持たせるための取得コンテンツの選択手法	47
8.3	本章のまとめ	48
第 9 章	結論	50

付 録 A コンテンツリスト	51
謝辞	54
参考文献	58

目 次

2.1	慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内で設置・実験されたデジタルサイネージ	12
2.2	シャトルバス内に設置されたデジタルサイネージシステム	16
2.3	WiMAX 端末機器	16
3.1	R-Tree の最小外接矩形のエントリ上限と下限	19
3.2	R-Tree の概略	19
3.3	空間データ同士の包含関係	20
3.4	AR-Tree の概略	21
3.5	線形検索と AR-Tree の平均比較回数の比較	21
3.6	線形検索と AR-Tree の検索時間 (nsec) の比較	22
3.7	通信品質と 10KB のコンテンツ取得時間の関係	23
3.8	通信品質と 50KB のコンテンツ取得時間の関係	23
3.9	シャトルバスで測定された RSSI の変動とシャトルバスの経路	25
3.10	シャトルバスで測定された RSSI の変動と IP アドレスの取得状況	26
5.1	配信されるコンテンツの条件区域分布	31
5.2	無線環境の情報を提供するアプリケーション, インターフェイス例	31
5.3	取得と表示の制御の例	32
5.4	代理取得区域の作成	33
6.1	コンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムの設計	35
6.2	無線環境が安定時の取得と表示のシーケンス図	36
6.3	無線環境が不安定時の取得と表示のシーケンス図	37
7.1	SoKanKan Signage Web Manager のインターフェイス	40
7.2	WEB インターフェイスから出力される XML	41
7.3	シャトルバス内設置機器	41

7.4	ClientState の実装例	42
7.5	CapBrowser のイベントの実装例	43
7.6	GetOrderManager の実装例	46
8.1	1 秒あたりのコンテンツ取得数	48
8.2	取得時刻と表示時刻の時間差の平均	49
A.1	コンテンツ ID1~20 を用いたときの区域の条件コンテキストの分布	52
A.2	コンテンツ ID1~40 を用いたときの区域の条件コンテキストの分布	53

表 目 次

3.1	線形検索と AR-Tree の平均比較回数の比較	21
3.2	線形検索と AR-Tree の検索時間 (nsec) の比較	22
3.3	RSSI, CINR と取得時間の相関係数	22
A.1	評価実験に用いた 40 個のコンテンツリスト	51

第1章 序論

1.1 はじめに

近年、デジタルサイネージは電子看板として普及している。設置される場所は電車やバス、タクシーの中、駅や商店街、学校・病院・役所といった公共施設、イベント会場やオフィスビルと多岐にわたる。ディスカウントストアの食品売り場に設置されたデジタルサイネージでは、商品や特売、献立の情報が表示されることで、来客者の購入意欲を刺激し、一定の売上効果を上げている。また、タクシー内に設置されたデジタルサイネージは平均乗車時間に合わせて番組を編成し、乗客者に見てもらうことで一定の視聴数を挙げている。デジタルサイネージにおける表示情報(以下、コンテンツと呼ぶ)を動的に変更できる利点は看板を張り替えるコストの削減に見合うだけではない。デジタルサイネージは位置、時間、人に応じて配信する情報を操作できるメディアであり、コンテキストウェアコンピューティングが実現された社会の形成につながる [1]。

以上より、デジタルサイネージによるコンテンツの配信において、デジタルサイネージが価値のあるメディアとして運用されるためには二つの要素が必要である。一つ目としては配信内容を逐次最新のものに更新することで、従来の看板を張り替えるコストを削減する効果を得ることである。二つ目は位置や時間等の実空間コンテキストからユーザコンテキストを特定し、ユーザコンテキストに対し適切なコンテンツを表示することである。しかし、設置されているデジタルサイネージの多くはネットワーク化が行われておらず、配信番組を配信スケジュールを展開する前にサイネージ端末に入れておき表示し続けるといった運用が行われている。

私は上記の問題提起を踏まえ、デジタルサイネージの価値を最大限発揮するシステムを実験・検証するため、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの大学内巡回バスに動的にコンテンツを取得表示するデジタルサイネージシステムを研究している。このシステムではキャンパス新聞やイベント情報、交通情報やミニブログ (Twitter) などのリアルタイムに更新されるコンテンツを地域 WiMAX を用いて取得する。また、時間と位置のコンテキスト

からユーザコンテキストを特定し、ユーザコンテキストに応じたコンテンツを表示する。

このシステムを運用する際に、以下の 2 点が問題となった。1 点目は巡回バス経路上に無線が繋がらない区域があり、その区域ではコンテンツの取得表示が不可能になることと、繋がらない区域でコンテンツのリクエストを行うことで取得待機の状態になり無線が繋がる区域に入っても即座にコンテンツのリクエストをサーバに送れないことである。2 点目は無線が繋がらない区域でコンテンツを表示するために無線の繋がる区域で事前に表示内容を取得しておき、表示に用いる仕組みが必要である。この時、コンテンツの取得と表示の間の時間差はできるだけ短いほうが望ましい。

本論文では、不安定な無線環境におけるコンテキストアウェア移動体デジタルサイネージシステムを実現するためにコンテンツの表示とは非同期にコンテンツのコンテキスト条件に応じて取得を行い、表示には事前に取得したキャッシュを用いる非同期プリフェッチの仕組みを提案する。また、非同期プリフェッチを適用したコンテキストアウェア移動体デジタルサイネージシステムを用い、取得効率と取得・表示間の時間差を実験評価する。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は、地域に特化したコンテンツを移動体上で配信する情報プラットフォームの構築であり、地域 WiMAX を用いて動的にコンテンツを更新しつつ位置と時間のコンテキストに応じてコンテンツを表示できるデジタルサイネージシステムの実現とする。これは不安定な無線環境においても、効率良くコンテンツを取得し、即時性を持ってコンテンツを配信できる要件の達成を目指す。

1.3 本論文の構成

本論文は [2] の内容に準ずるものである。

本論文は 9 章から構成される。第 2 章では、本研究の重要概念であるデジタルサイネージ、コンテキストアウェア、地域 WiMAX について述べる。第 3 章では、システムを実現する上での問題点を述べる。第 4 章では、関連研究について述べる。第 5 章では第 3 章で述べた問題を解決する手法について述べる。第 6 章では本研究で開発されたシステムの設計について述べる。第 7 章では設計に基づいた実装について述べる。第 8 章では提案手法についての評価を行う。第 9 章では結論を述べる。

第2章 移動体へのコンテンツ配信

我々の研究グループでは慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの大学内巡回バスにデジタルサイネージシステムを構築し、研究を行っている。本章では本研究で用いられる概念・要素について示す。

2.1 コンテキストウェア

近年、コンテキストウェアアプリケーションの研究が進んでいる。コンテキストウェアとは物や人の状態(コンテキスト)を特定し、コンテキストに応じてアプリケーションの振る舞いを決定するものでありユビキタスコンピューティングにおいて重要な概念だと考えられている。

コンテキスト、コンテキストウェアについての定義は Dey らは以下のように述べている [3]。

Our Definition of Context

Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves.

Our Definition of Context-Aware

A system is context-aware if it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user's task.

コンテキストは実体の状況の特徴付けるために使われる情報である。この実体というのは人や場所、物、ユーザやアプリケーション自体を示し、それはユーザとアプリケーション間のインタラクションに関係するものである。また、ユーザのタスクに関係のある情報



図 2.1: 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内で設置・実験されたデジタルサイネージ

やサービスをユーザを提供するためにコンテキストを用いるシステムをコンテキストウェアと呼ぶ。

森川ら [4] は実空間指向のサービスを提供する際にコンテキストウェアの技術が必要でありコンテキスト情報の利用が必須であることを述べている。ここで前述の広義のコンテキストの定義に対し、ユーザコンテキスト (ユーザプロフィール, 位置, 行動), 物理コンテキスト (明るさ, 雑音, 交通状態, 温度), コンピューティングコンテキスト (ネットワーク接続性, 通信コスト, 近隣デバイス), 時間コンテキストと分類し詳述している。

坂本ら [5] は複数のコンテキストからユーザのコンテキストを特定する例として, 複数のセンサから複雑なコンテキスト (マッシュアップコンテキスト) を推定するためのセンササービスのマッシュアップを実現するサービス指向基板を提案している。例えば人感センサと温度センサを用いて「リビングに在室していてかつ室温が28度以上」という複雑なコンテキスト条件を登録し, 条件に基づいて冷房の振る舞いを実装することで「ユーザが家で暑いと感じる」という一般的なユーザコンテキストに対応したサービスを提供することができる。

2.2 デジタルサイネージ

デジタルサイネージとは家庭以外の場所で設置される映像媒体で, ディスプレイやプロジェクタに動画や静止画を切り替えて表示する OOH メディア (Out of Home) の一部であ

る (図 2.1). 株式会社ジェイアール東日本は山手線, 中央線快速・青梅五日市線, 京浜東北線・根岸線の車両にサイネージを設置し, 企業の広告・ニュース・天気予報・占いといった情報を時間帯・曜日に応じて表示している [6]. また, 株式会社マルダは大手ディスカウントストア Olympic の食品売り場にサイネージを設置し, 広告や天気, おすすめ商品, おすすめ料理といった情報を提供する映像を表示している [7].

ここで, 江口 [8] はデジタルサイネージの特性として以下の 2 点を述べている. 1 点目はほとんどのデジタルサイネージが設置されている環境において, 視聴する人間が動いている, 歩いていることが多く, 人々の視聴スタイルはテレビとは異なる. 多くのデジタルサイネージはディスプレイの特性を活用するため動画の活用にとどまっているが, 人々の視界の中が動画で動いているため, 表示内容が動画であるより静止画の変化や再生順の変化のほうが注意が引きつけられるということである. 2 点目はこれまでのポスタやネオンサイン, テレビとは違い, 時間と場所を特定し表示情報を決定できることである.

一方で 2009 年の調査においてデジタルサイネージの 90% はネットワーク化が成されていない. 動的に表示内容を更新できるデジタルサイネージでは常に最新の情報や広告を必要な場所と時間に配信されることに価値があると指摘されている [1].

2.3 WiMAX

2.3.1 固定 WiMAX 及びモバイル WiMAX

WiMAX(World Interoperability for Microwave Access) は都市部や郊外, 山間部などの中規模エリアのファーストマイル/ラストワンマイルに対して, 無線ブロードバンドアクセス (BWA, Broadband Wireless Access) を提供する規格である.

IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers, 米国電気電子学会) において, 無線 MAN(Wireless Metropolitan Area Network) を対象として IEEE 802 委員会に新しく WG16(Working Group 16) が設立された. 801.16WG は PMP(Point-to-Multipoint, 1 対多接続) と FWA(Fixed Wireless Access, 固定ワイヤレスアクセス) の標準化の検討を行い, IEEE 802.16 標準では基地局 (BS, Base Station) が複数のユーザ端末 (SS, Subscriber Station) への帯域割り当て制御を行う方式と伝送路に障害物がない LOS(Line of Sight, 見通し内通信) を対象に 10~66GHz の周波数帯のシングルキャリア (Single Carrier, 単一搬送波) を採用した. その後, 矛盾点の修正を行った IEEE802.16c 標準, NLOS(None Line of

Sight, 見通し外通信) に適用しマルチキャリア (複数搬送波) 方式である OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 直交周波数分割多重), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, 直交周波数分割多重多元接続) の多重方式を追加採用し適用周波数帯を 2~11GHz へ変更した IEEE 802.16a 標準の発行を経た後に, これらを統合して進められた標準が IEEE802.16-2004 であり, IEEE802.16-2004 をベースとして移動中に通信する基地局を連続的に切り替えて通信を継続するハンドオーバーが加えられたものが IEEE802.16e 標準である [9].

IEEE802.16 が標準化を進めた物理層, MAC 層を中心とした無線方式の規格に対し, 機器の互換性と相互接続性を保証することを目的に事業者やメーカーが中心に設立した非営利団体 WiMAX フォーラムがあり, WiMAX フォーラムは相互接続性を確保するためのプロファイル (共通仕様) を策定している. IEEE 802.16-2004 標準とこのプロファイルに準拠し認証試験を通過した無線機器を固定 WiMAX または WiMAX と呼び, IEEE 802.16e 標準とこのプロファイルに準拠し認証試験を通過した無線機器をモバイル WiMAX と呼ぶ (図 2.3) [10].

モバイル WiMAX を用いた通信ネットワークを商用サービスとして開始した UQ コミュニケーションズ株式会社では下り最大 40Mbps, 上り 10Mbps のサービスを提供している [11]. これは NTT ドコモや Ericsson 社が中心に開発した第 3 世代携帯電話の通信方式 W-CDMA を高速化した HSDPA(High Speed Downlink Packet Access) の通信速度の理論値 14.4Mbps を上回る [12].

株式会社ジェイアール東日本の新型成田エクスプレス「E259 系」の各車両に設置されたサイネージへのコンテンツ配信の通信回線として, UQ コミュニケーションズ株式会社が提供するサービス UQ WiMAX が採用され, 天気やニュース, フライト情報に即時性を持たせてコンテンツを配信する通信構成が整えられた [13].

2.3.2 地域 WiMAX

地域 WiMAX は前述の無線通信技術 WiMAX を利用し, 地域が主体となって, 地域のニーズに応じたブロードバンドサービスを提供することにより, デジタル・デバイドの解消, 地域の公共サービスの向上, 当該地域の公共の福祉の増進を目指す無線通信サービスである [14].

地域 WiMAX では 2,575MHz から 2,595MHz までの周波数 (固定系地域バンドと呼ぶ) の

電波を使用する無線局を用いる。これは WILLCOM CORE(XG-PHS) が用いる 2,545MHz から 2,575MHz までの周波数 (下隣接周波数帯) と UQ コミュニケーションズが展開する全国 WiMAX が用いる 2,595MHz から 2,625MHz までの周波数 (上隣接周波数帯) の間の 20MHz が用いられる。ここで利用周波数帯内でガードバンドと呼ばれる周波数帯を決め、混信を防ぐ必要がある。地域 WiMAX は中心周波数 2,587MHz を基に 10MHz の帯域幅を利用する 10MHz システムと、中心周波数 2,584MHz, 2,590MHz を基にそれぞれ 5MHz の帯域幅を利用する 5MHz システムが標準化されている。地域 WiMAX のサービスの提供を考えている事業者は地方行政とのコンセンサス、自社サービスモデル、実施計画を検討し、この基準に準じた無線設備の設置を行い運用する [15, 16]。

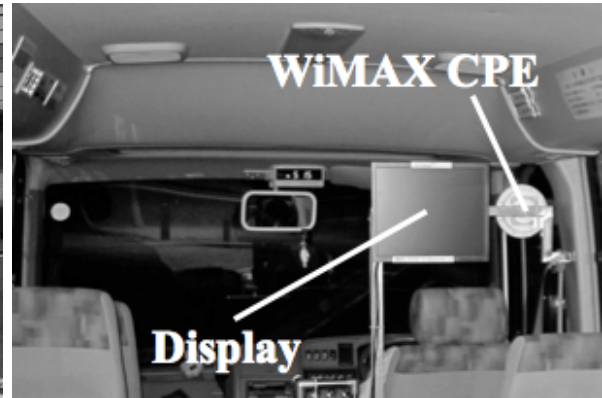
2.4 キャンパス内でのコンテンツ配信

私はコンテキストウェアアプリケーションとして公共交通機関内へのデジタルサイネージに注目している。デジタルサイネージをコンテキストウェアアプリケーションとして運用すれば、コンテキストに応じてコンテンツを変えることができる。近年では蓄積コンテンツをコンテキストに応じて配信するシステムがカーナビゲーションシステムや電車内の広告などで使われている [1]。時々刻々するコンテンツを動的に配信して、コンテキストに応じて表示することができれば、例えば、早朝に大学の建物の周辺というコンテキスト条件において当日の休講情報や、大学内のイベント情報を提供することができる。飲食店の前というコンテキスト条件では、飲食店のメニューの宣伝情報を提供することができる。さらに、限定商品の在庫数といった商品の宣伝情報や、災害時の電車の運行情報といった動的に変更される情報を配信できる。

我々の研究グループでは慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの大学内巡回バス (愛称: SoKanKan, 図 2.2(a)) にこうした動的にコンテンツを取得し、表示するデジタルサイネージシステムを開発している (図 2.2(b))。このデジタルサイネージシステムでは、配信場所を地域に限定したキャンパス新聞やイベント情報、交通情報やミニブログ (Twitter) などのリアルタイムに近いコンテンツを地域 WiMAX を用いて取得し、時間や場所から特定されたコンテキストに応じてコンテンツを選択し配信する。



(a) キャンパス内巡回シャトルバス (SoKanKan)



(b) シャトルバス内に設置された機器

図 2.2: シャトルバス内に設置されたデジタルサイネージシステム



(a) Infomark WiMAX 端末 (USB)



(b) Infomark WiMAX 端末 (CPE)



(c) JRC WiMAX 端末 (CPE)

図 2.3: WiMAX 端末機器

2.5 本章のまとめ

ユビキタスコンピューティングの分野において、実空間コンテキストに基づきユーザコンテキストを特定し、コンテキストに応じた振る舞いを示すアプリケーションの開発の研究が進んでいる。動的に配信するコンテンツを変更できるデジタルサイネージにはコンテキストアウェアの特性を持つ。本研究は、キャンパス内を走行する位置と時間に応じたコンテキストアウェア移動体デジタルサイネージシステムの設計の実現を目標とする。また配信コンテンツを地域 WiMAX の無線網を用い逐次コンテンツを取得し、動的に配信内容の更新を行う価値を付随した設計を提案する。

第3章 移動体へのコンテンツ配信の課題

本章では、不安定な無線環境に応じたコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムにおける課題について議論する。本研究の課題と特徴について明らかにするために、ここで議論する議題は以下の二つに特定する。

- 決められた配信時刻にコンテンツを表示する課題
- 不安定な無線環境における取得可否の課題

3.1 決められた配信時刻にコンテンツを表示する課題

本研究で配信される情報は交通情報や広告の情報を提供する Web コンテンツを想定している。次に発車する電車の時間を提示するような交通情報やタイムサービス、限定商品の在庫を提示する広告配信において、この情報が価値を持つ時間帯は短い。これらの情報を扱うときには即時性が必要であり、コンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムには必要な要件である。即時性を持たせるためには表示の直前に最新の情報を逐次取得する必要がある。

コンテンツの取得から表示までに時間差を発生させる要因として以下の二つが存在する。

- 取得するコンテンツを選択する処理時間
- コンテンツを取得する通信時間

それぞれの過程で発生する時間の考察を行う。

3.1.1 取得するコンテンツを選択する処理時間の短縮化

それぞれのコンテンツが持つ多次元のコンテキスト条件に基づいて表示の挙動を決定するコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムと多次元の空間データをインデクシングする手法として R-Tree[17], AR-Tree[18] との関連を考察する。

3.1. 決められた配信時刻にコンテンツを表示する課題

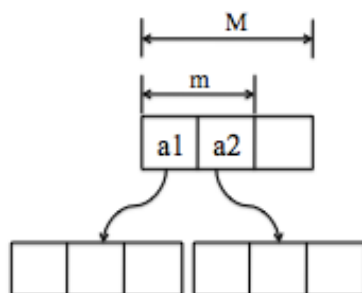


図 3.1: R-Tree の最小外接矩形のエントリ上限と下限

R-Tree は空間データを示す矩形のノードとその矩形の組み合わせから生成される最小外接矩形 (MBR, Minimal Bounding Rectangle) のノードにより成り立つ木構造である。最小外接矩形はエントリの上限数 M 、下限数 m があり、上下限の内でノードのポインタを示す構造を持つ。図 3.2(b) の矩形のデータセットから生成される図 3.2(a) を用いて点の検索を行う時、最初に最小外接矩形 R1, R2 に対しての包含関係を調べる。R1 内に検索点が存在すれば R2 が辿る先にある葉ノード R15, R16, R17, R18, R19 に対しての包含関係を調べる必要がなくなる。R1 内に検索点が存在するとき次に最小外接矩形 R3, R4, R5 に対しての包含関係を調べる。R3 内に検索点が存在すれば、R11, R12, R13, R14 に対しての包含関係を調べる必要がなくなり、包含関係を調べる必要のある空間データを示す葉ノードは R8, R9, R10 のみに限定される。上記のように最小外接矩形を用い、検索すべき空間データを示すノードを限定することで検索効率の向上を実現する。

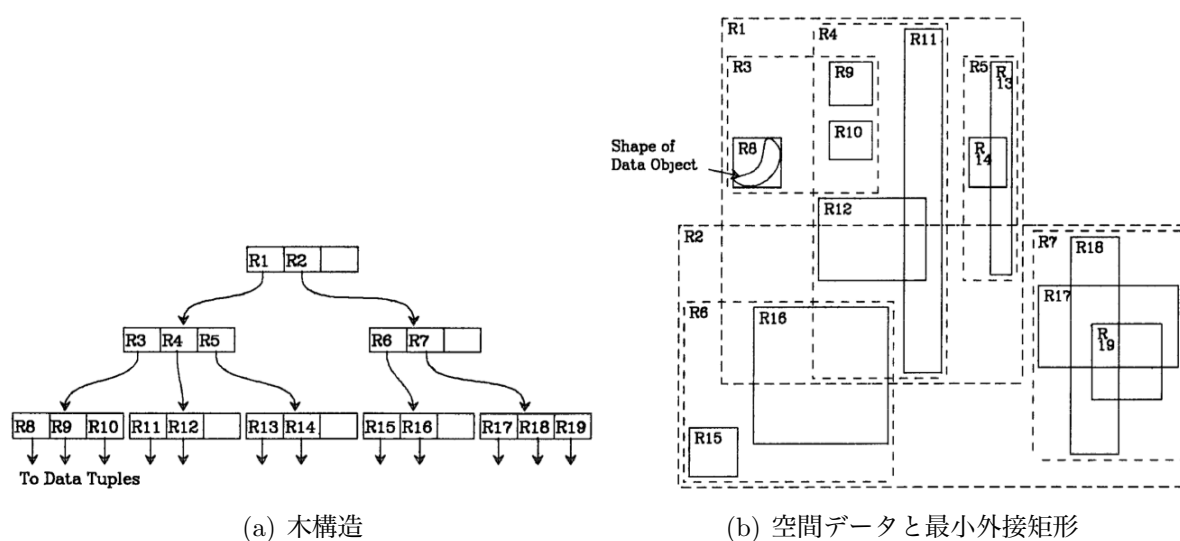


図 3.2: R-Tree の概略

R-Tree が空間データから最小外接矩形を生成し、最小外接矩形を用いて検索すべきノードを限定することで検索効率の向上を実現することに対し、AR-Tree はそれぞれの空間データ同士の包含関係から二分木構造を生成する。空間データの包含関係には含む関係 (図 3.3(a)), 含まれる関係 (図 3.3(b)), 重なる関係 (図 3.3(c)), 離れている関係 (図 3.3(d)) が存在し、包含関係に応じて空間データ 3.4(b) から木構造 3.4(a) を生成する。任意点を検索するとき、根ノードで示された空間データとの包含関係を調べ、点が空間データ内であれば inside のポイントが示す空間データを、点が空間データ外であれば outside のポイントが示す空間データと逐次ノードを辿り、葉ノードに辿り着くことで点を含む空間データを検索した結果を得ることができる。包含関係で構築される木構造によって検索点と離れた空間データを検索する計算コストを省く。また、空間データから木構造が生成されるため、R-Tree と比較すると最小外接矩形との包含関係を調べる計算コストを省く。

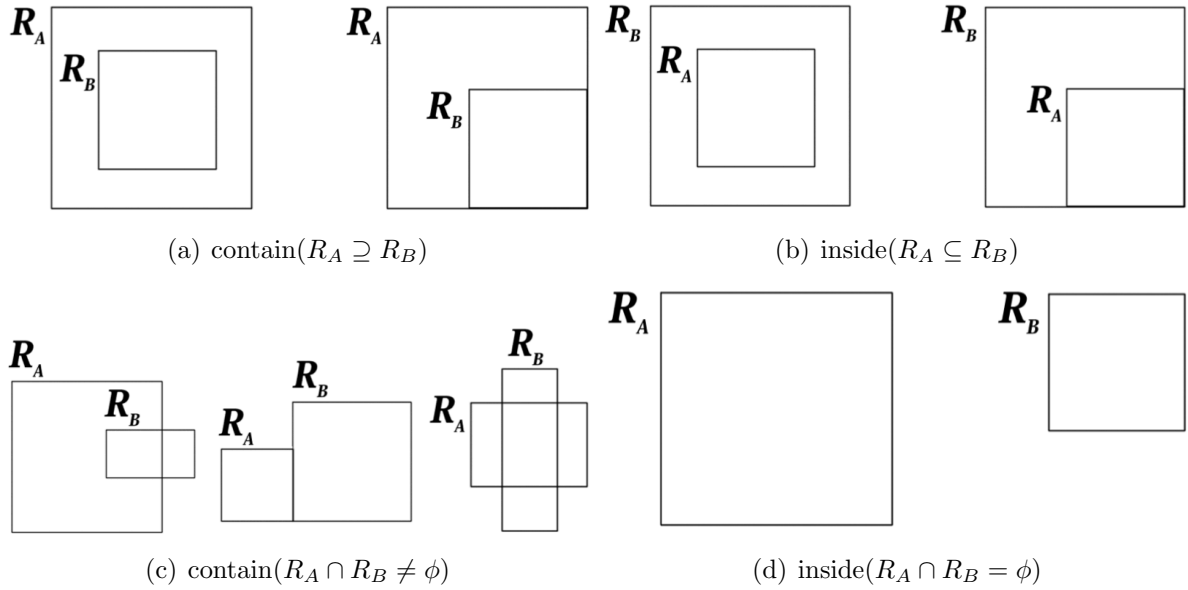


図 3.3: 空間データ同士の包含関係

佐藤 [18] は実空間コンテキストの定義を構成する条件集合の論理関係を構造化することで、実空間コンテキストを検出するために必要な論理比較処理を効率化することを示した。その結果、AR-Tree は R-Tree に比べ、コンテキスト検出を効率化できることを示した。

そこで、AR-Tree を実装し移動体へのコンテンツ配信を踏まえて生成したコンテンツのデータセットに対してコンテキスト検出の所要時間を調べた。図 3.5 は 1 回の検索に必要なとされる平均検索回数である。図 3.6 はコンテンツ数 10, 20, 30, 40 に対して 1 回の検索

3.1. 決められた配信時刻にコンテンツを表示する課題

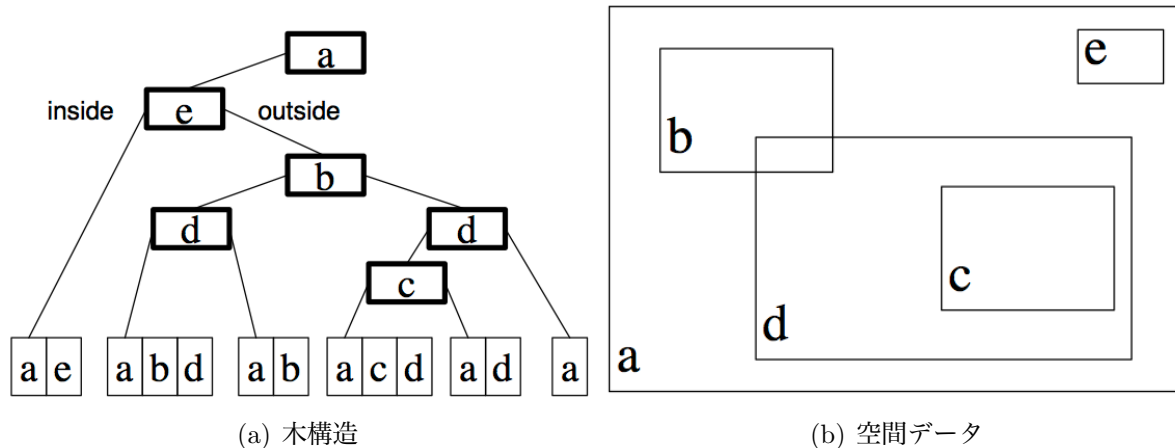


図 3.4: AR-Tree の概略

にかかる所要時間である。

コンテンツ数が 40 の時，図 3.5 より線形検索に比べ，3.25 倍の比較回数の効率化を果たした。また，図 3.6 より計算速度において，2.11 倍の検索速度の高速化を示した。

しかし，AR-Tree を用いた場合，用いない場合，いずれの場合において 1 回の検索にかかる所要時間はナノ秒の単位である。デジタルサイネージの表示スケジュールが秒単位で管理されることを考えると検索の処理時間は十分に小さいため無視できる。

コンテンツ数	線形検索	AR-Tree
10	10.00	5.82
20	20.00	10.46
30	30.00	11.37
40	40.00	12.29

表 3.1: 線形検索と AR-Tree の平均比較回数の比較

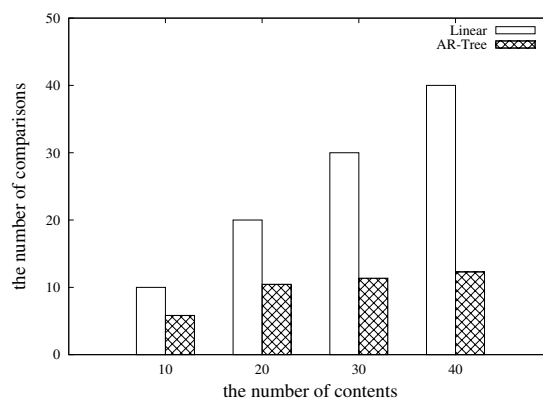


図 3.5: 線形検索と AR-Tree の平均比較回数の比較

コンテンツ数	線形検索	AR-Tree
10	1.90	1.37
20	3.63	2.48
30	5.00	2.81
40	6.19	2.93

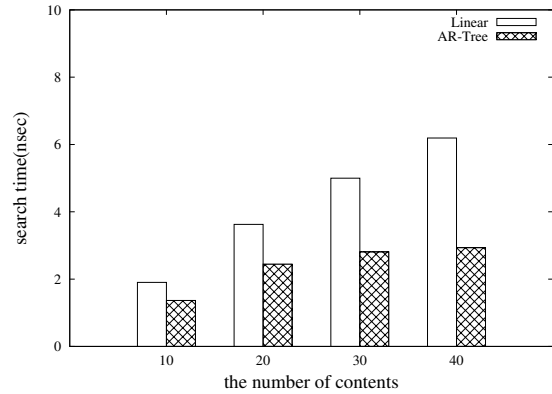


表 3.2: 線形検索と AR-Tree の検索時間 (nsec) の比較

図 3.6: 線形検索と AR-Tree の検索時間 (nsec) の比較

3.1.2 コンテンツを取得する通信時間の短縮化

コンテンツを取得する時間はコンテンツのデータサイズと通信実効速度により決まる。通信実効速度は通信品質 RSSI(Received Signal Strength Indication) , CINR(Carrier to Interference and Noise Ratio) により変動する。ここで通信品質と 10KB, 50KB のコンテンツの取得時間の関係を図 3.7, 図 3.8 で示し, RSSI, CINR と取得時間の相関係数を表 3.3 で示す。

表 3.3 より, 通信品質とコンテンツの取得サイズに負の相関関係が確認できる。図 3.7 より 10KB のコンテンツの取得時間は最大 0.7 秒程度であり, 図 3.8 より 50KB のコンテンツの取得時間は最大 1.7 秒程度必要であることが示される。移動体は位置に応じて通信品質が変動し想定される取得時間が変化する。デジタルサイネージシステムのコンテンツの表示スケジュールが秒単位で管理されるとき, これらの取得時間は表示スケジュールに遅延をもたらし, 適切な表示時刻のコンテンツの表示を困難にする。

表 3.3: RSSI, CINR と取得時間の相関係数

相関係数	10KB	50KB
RSSI	-0.13	-0.20
CINR	-0.17	-0.20

3.2. 不安定な無線環境における取得可否の課題

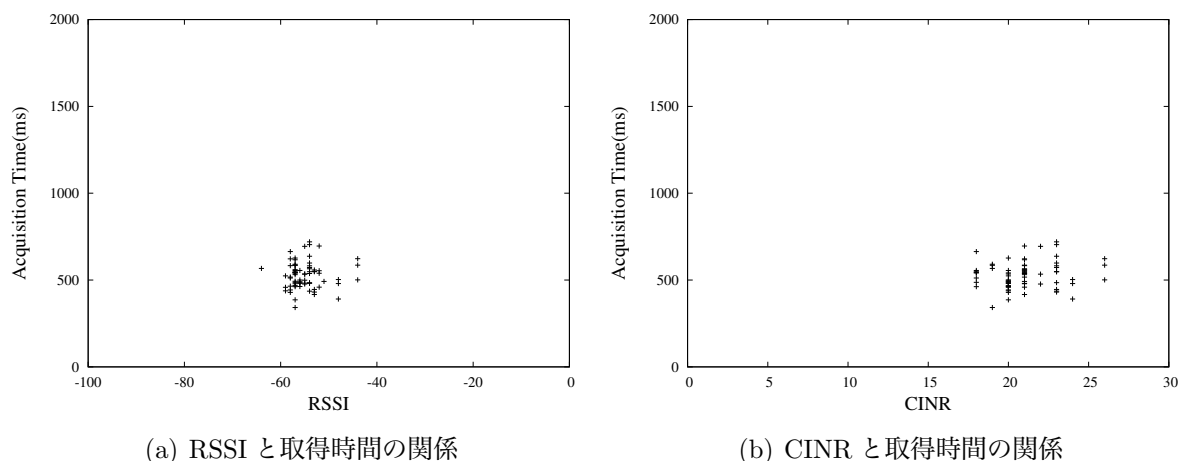


図 3.7: 通信品質と 10KB のコンテンツ取得時間の関係

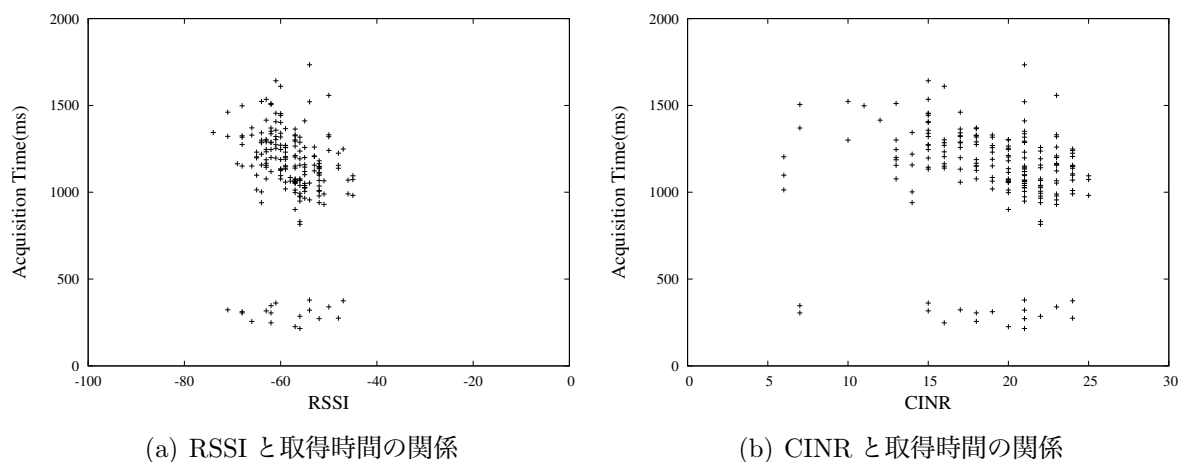


図 3.8: 通信品質と 50KB のコンテンツ取得時間の関係

3.2 不安定な無線環境における取得可否の課題

3.2.1 取得効率の課題

不安定な無線環境における RSSI の変動と IP アドレスの取得状況を調べるために測定を行った結果、図 3.9、図 3.10 のような結果が示された。図 3.9 は経路上の RSSI 値の強度を示した図で、点が薄い地点は RSSI が低く、特に枠 A、B で囲まれた領域は RSSI 値は -75dBm を下回る。図 3.10 は一巡時の RSSI と IP アドレスの取得の変動を示す。

実験環境において、IP アドレスを取得するのに十分な RSSI 値は約 -75dBm を上回る程度であったが、図 3.10 が示すように RSSI が良好になっても、即座に IP アドレスは取得さ

れない。これはバス内に設置された WiMAX CPE(Consumer Premises Equipment) が十分な RSSI を保つときネットワークエントリ手順として以下の過程を踏むためである [19]。

1. ネットワーク検出と選択
2. 初期レンジング
3. 通信基礎能力の交渉
4. 認証とトラフィック暗号鍵 (TEKs) の確立
5. 端末のネットワークへの登録
6. IP アドレスの配布・取得

また、IP アドレスが解放されるためには十分な RSSI を保てず通信することができない時間が一定の間必要であるため、図 3.10 が示すように、RSSI が良好でなく通信できない状態であっても IP アドレスを保持している状態が存在する。

通信することが困難である時、コンテンツのリクエストは適切にサーバに送られない。特に IP アドレスが取得されていながらも通信品質が不良であるとき、到達性のないデフォルトゲートウェイを通してコンテンツのリクエストを試みるため、サーバに送られていないリクエストのレスポンスをタイムアウトされるまで取得待機しなければならない。その後、バスがつながる区域に移動したときに、その区域でリクエスト、取得ができず不効率となる。

タイムアウトの例として Internet Explorer 8 の初期値では 60 分である [20]。また、タイムアウトの時間はアプリケーションに応じて任意設定が可能である。しかし、コンテンツの取得時間は通信品質に依存し、無線環境における移動体の通信品質は位置に応じて変動する。タイムアウトの時間を短くすることで以前のタイムアウトの時間内に取得できたコンテンツが取得できなくなりうるため、タイムアウトの調整によりコンテンツの取得効率の向上を目指すことは難しい。

3.2.2 非同期取得の必要性

図 3.9 において、無線が不安定でつながらないとされる区域は主に A, B と 2 つ存在する。この区域内で表示したいコンテンツがあるとき、区域 A, B 内で取得を行うことは難

3.3. 本章のまとめ



図 3.9: シャトルバスで測定された RSSI の変動とシャトルバスの経路

しいため、コンテンツの表示に合わせて取得する仕組みでは経路全域に渡ってコンテンツを配信することはできない。そこで、コンテンツの取得は表示とは非同期に無線環境に応じて行う必要がある。あらかじめ取得を行い、表示のための配信コンテンツをキャッシングする仕組みをプリフェッチと呼ぶ。

3.3 本章のまとめ

本章では不安定な無線環境に応じたコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムに対する要件を整理した。コンテンツの表示スケジュールに基づいてコンテンツを取得するとき取得時間が表示スケジュールに影響を与えることを示した。また、コンテンツ配信において非接続時のコンテンツ取得が全体の取得効率を招くことと非接続時に表示すべきコンテンツはあらかじめ接続時に取得しなければならないことを示した。

次章では、本研究に関連する研究を述べる。

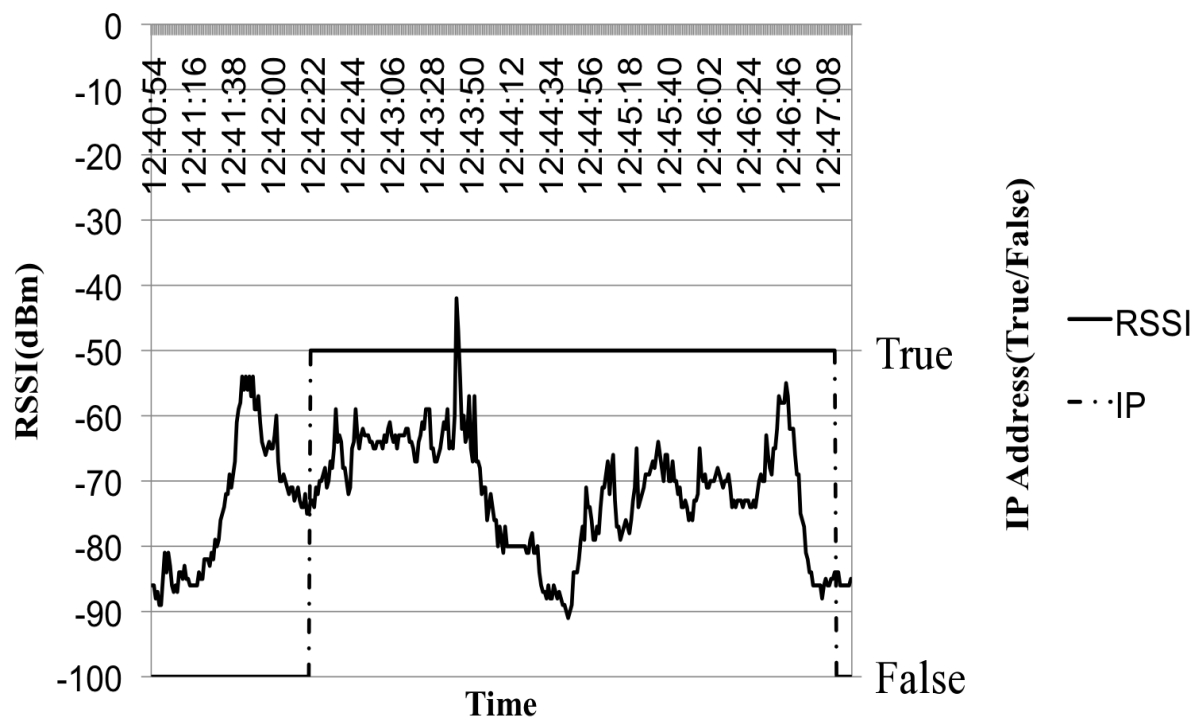


図 3.10: シャトルバスで測定された RSSI の変動と IP アドレスの取得状況

第4章 本研究の関連研究

本章では前章の課題の考察に基づき，移動体へのコンテンツ配信の既存研究について述べる．既存研究には移動体へのコンテンツ配信に関する研究と，取得・表示間の時間差を縮め即時性を持ったコンテンツの配信方法に関する研究について述べる．

4.1 移動体へのコンテンツ配信

4.1.1 Content Distribution Network for Mobile Streaming Media

コンテンツを配信するための CDN(Content Delivery Network or Content Distribution Network) に対し，吉村ら [21] は移動体に対する CDN としてモバイルストリーミングメディア CDN と呼ばれるアーキテクチャを提案している．これは SMIL(Synchronized Multimedia Integrated Language) ファイルに基づき移動体がコンテンツを取得することで，動画や音声などの大容量のコンテンツの分割，取得 URL の書き換え，プリフェッチスケジュールの生成，SOAP のプロトコルに基づいたやりとりを実現している．

4.1.2 Web サービスの Content Delivery Network への適用

森岡ら [22] はモバイル CDN に要する機能としてモビリティ機能 (端末移動時でも高品質なストリーミングサービスを実現するための機能) を上げ，CDN の構築要求条件として障害対応 (通信の切断，サーバの障害が発生した場合でも障害が伝搬しないこと) をあげている．また，コンテンツサーバに対する代理として存在するサロゲートにはキャッシュ制限 API(コンテンツのプリフェッチ・消去及びキャッシュ状況を照会するための機能を公開する)，キャッシュ状況変更通知 API(サロゲートにおけるコンテンツキャッシュ状況に

変更があった際に、コンテンツロケーションマネージャに変更内容を通知する) を API として実装した。

4.1.3 デジタルサイネージ向けの地域コンテンツの自動配信手法の提案

鈴木ら [23] は路面電車デジタルサイネージシステムを提案している。これは液晶ディスプレイと HSDPA 方式のデータ通信カード、GPS 受信機を接続した表示制御用コンピュータを設置した車両と、車両とは別に設置されたデジタルサイネージ用サーバから構成されている。電車内に設置されたコンピュータはサーバ側へ常に TCP セッションを張り続けることで、コンテンツや配信スケジュールの変更、取得を行う構成になっている。

鈴木らの研究と本研究を比較する。本研究の提案では、特定地域に対するコンテンツ配信を目的とし通信方式は地域 WiMAX を用いる。キャンパス内の地域 WiMAX は不安定な無線環境であるため、TCP セッションを張り続けることでのコンテンツ、スケジュール同期は困難である。

4.2 即時性を持ったコンテンツ配信

4.2.1 Selective Update Approach to Maintain String Web Consistency in Dynamic Content Delivery

CDN はコンテンツ配信サーバの持つコンテンツをネットワーク上の複数のサロゲートに複製し、それぞれのサロゲートがエンドユーザに配信することでコンテンツ配信の効率の向上を図っている。コンテンツ配信サーバが動的に変更され続けるファイルを扱うとき、コピーされたファイル間で一貫性を保つことが重要な問題となる。

Zhou らは CDN におけるコンテンツの一貫性において、ネットワークトポロジに基づいたアルゴリズムに決定されたサーバ間でコンテンツが複製されることでエンドユーザへの配信時間の遅延を最小化する仕組みを提案している [24]。

4.2.2 実空間コンテキストに応じたコンテンツ配信

佐藤 [18] は通信実効速度からコンテンツの取得時間を求め、コンテンツ表示時刻から逆算してコンテンツの取得を行い、即時性を持ってコンテンツを表示することが困難である

4.3. 研究課題

ことを示した。また、この問題に対して、コンテンツの表示順序に依らないコンテンツのプリフェッチを表示と非同期に行うことでコンテンツの表示が可能とした。

しかし、コンテンツのプリフェッチにおいて、取得すべきコンテンツは現在のコンテキストから限定される。例えば、あるコンテンツの時刻・区域のコンテキスト条件を現状のコンテキストが満たさない時、現在表示されているコンテンツの表示時刻を終えたときにその特定コンテンツが即座に表示される可能性は低いと考えられる。現在のコンテキストから取得コンテンツを決定することで、表示時刻と取得時刻の時間差を狭めることができ、即時性を持ったコンテンツの配信が可能となる。

4.3 研究課題

不安定な無線環境におけるコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムの研究課題はモバイル CDN における研究課題と同義であり、ネットワークへの接続状態に応じたシステムの振る舞いを定める必要と、コンテンツのキャッシュを常に最新の状態に保つための仕組みを定める必要がある。

第5章 アプローチ

不安定な無線環境における実空間コンテキストに応じた移動デジタルサイネージシステムを実現するためには以下の2点が必要となる。

1. 不安定な無線環境におけるコンテンツの取得・中断の制御
2. コンテンツ取得・表示における時間差を縮め、即時性を持たせるための取得コンテンツの選択手法

5.1 不安定な無線環境におけるコンテンツの取得と中断の制御

不安定な無線環境におけるコンテンツの取得と中断の制御を行うためには接続端末から無線環境の情報を取得する必要がある。一般的に接続端末から無線環境の情報を得るためには開発元が提供しているデバッグ用アプリケーション(図5.2(a))やWEBインターフェイス(図5.2(b))を利用しなければならなかった。

ネットワーク機器の管理を行うための標準的なプロトコルとしてSNMP(Simple Network Management Protocol)がある。管理の対象となるネットワーク機器にSNMP Agent(snmpd)と呼ばれるソフトウェアを実装し、管理側がSNMPというプロトコルを用いて問い合わせを行う。やり取りされる情報は管理情報ベースMIB(Management Information Base)にて定義される。MIBは機器の種類ごとに標準化されたものが存在し、また独自に定義することも可能である。実験で用いたWiMAX CPE 端末 JRL-900(図2.3(c))には独自に定義されたMIBを用いたsnmpdが実装されており、これを用いることで端末のRSSI値及びIPアドレスの取得が可能である。

開発したデジタルサイネージシステムのクライアントアプリケーションは移動体内にディスプレイとWiMAX CPEと共に設置される。クライアントは逐次WiMAXのCPE

5.1. 不安定な無線環境におけるコンテンツの取得と中断の制御

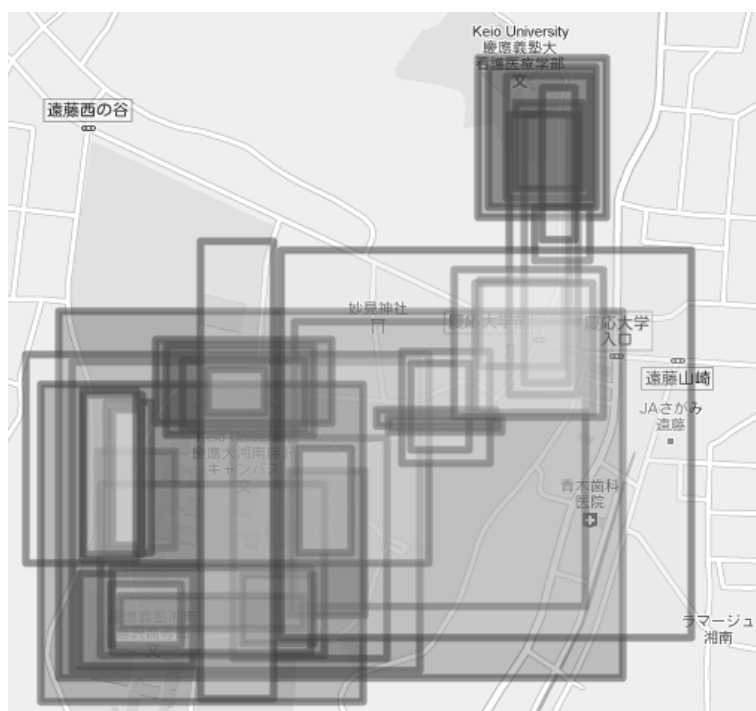
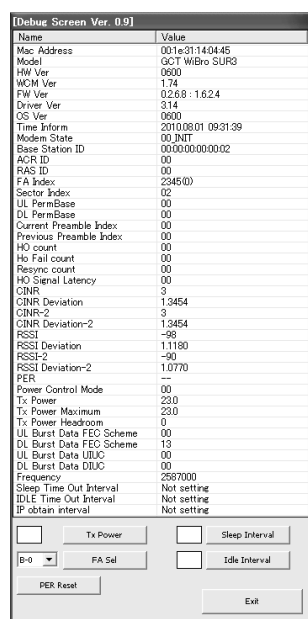


図 5.1: 配信されるコンテンツの条件区域分布



(a) Infomark 製の USB 型 WiMAX 端末のデバッグ画面



(b) JRC 製の WiMAX CPE 端末の WEB インターフェイス

図 5.2: 無線環境の情報を提供するアプリケーション、インターフェイス例

に SNMP を通じて RSSI 値と IP アドレスを取得している。このとき、RSSI が閾値 k を超えている、かつ IP アドレスが取得されている状態を接続状態とし、そうでないときを非接続状態とすることで、接続状態に応じた振る舞いを決定できる。

5.2 取得コンテンツ選択

取得するコンテンツの選択はコンテンツのリストが持つそれぞれの条件区域と現在の移動体の位置情報と時刻に基づいて行われる。接続状態の時、逐次、現在の位置情報と時刻が適合する条件区域を検索し、ブラウザコンポーネントは適合するコンテンツの中から最新の取得日時が古いものを取得しキャッシュする。このコンテンツの取得選択は表示のスケジュールとは非同期に行われる。

図 5.3 は位置に応じた取得コンテンツの選択とコンテンツの表示を示すための例である。A, B はそれぞれ対応コンテンツを取得するコンテキストの区域を示す。また図の 1~4 はバスの位置を示す。ここで、1~4 におけるクライアントのアプリケーションの振る舞いを示す。

1. シャトルバスが A の条件区域に入ることによって、区域 A に対応したコンテンツを取得する。サイネージ部は A に入る前に表示されているコンテンツの表示が続いている。
2. サイネージ部で、コンテンツの指定表示時間が終了し区域 A に対応したコンテンツの表示を開始する。
3. B の区域に入ることによって、条件区域 B に対応したコンテンツを取得する。サイネージ部は条件区域 A に対応したコンテンツの表示が続いている。

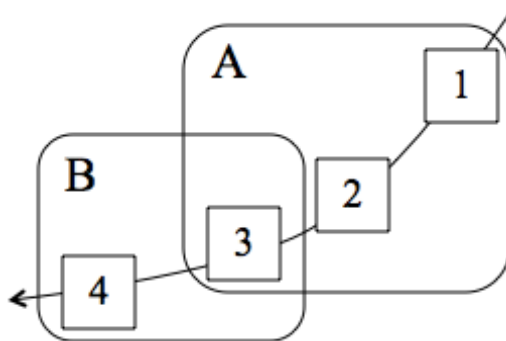


図 5.3: 取得と表示の制御の例

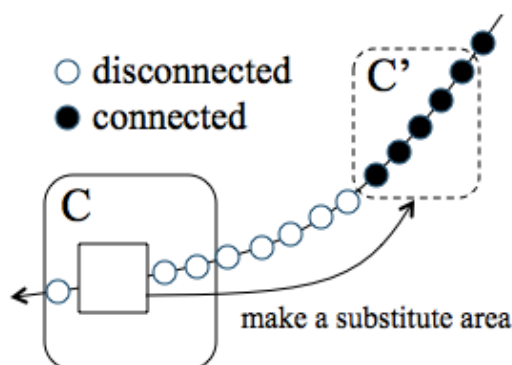


図 5.4: 代理取得区域の作成

4. サイネージ部で、コンテンツの指定表示時間が終了し条件区域 B に対応したコンテンツの表示も開始する。

条件区域の通信品質が不安定であるとき、通信品質が良好である条件区域を別に作成しクライアントアプリケーションは作成された条件区域に基づきコンテンツの取得を行う (図 5.4)。クライアントアプリケーションは逐次、接続状態であった地点を記録している。クライアントアプリケーションが条件区域 C 内で対応したコンテンツがキャッシュされておらず、また非接続の状態であったならば、記録してある複数の連続した接続状態を示す点の一定数から区域を形成する。この区域は一定数の点の緯度の最小値、最大値、経度の最小値、最大値からなる区域の条件コンテキストである。この区域条件と C の表示時刻条件を用いてコンテキスト条件 C' を生成し、クライアントアプリケーション内のコンテキスト条件のリストに登録する。これは本来取得することができないコンテキスト条件 C に対する代理のコンテキスト条件として機能する。クライアントアプリケーションはコンテキスト条件 C' を満たすとき、 C に対応したコンテンツの取得のみを行うことで、コンテキスト条件 C を満たしたときに表示されるコンテンツを C が満たされる直前の条件 C' で取得できる。

5.3 本章のまとめ

本章では不安定な無線環境におけるコンテキストに応じた移動デジタルサイネージシステムを実現するための二つの要素について述べた。

次章では本章で提案したアプローチを備えるコンテキストに応じた移動デジタルサイネージシステムの設計を述べる。

第6章 設計

本章では不安定な無線環境における実空間コンテキストに応じたコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムの設計について述べる。

6.1 設計概要

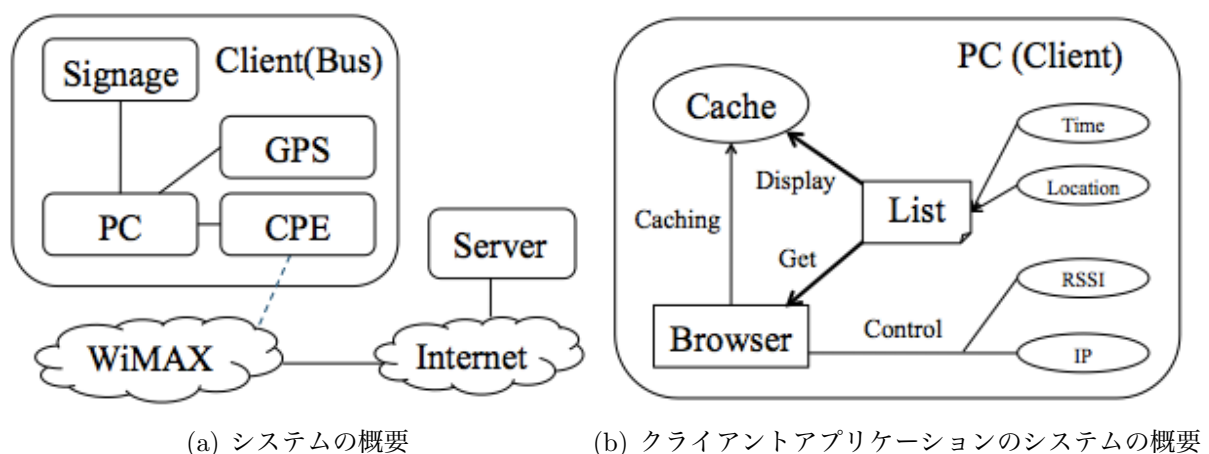


図 6.1: コンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムの設計

図 6.1 はコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムの全体の設計を示す。

コンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムで配信するコンテンツは設置されたサーバ上の WEB インターフェイスを用いて編集する。サーバ上のコンテンツリストに ID, コンテンツ名, コンテンツ URL, 表示時間, 表示のコンテキスト条件 (緯度経度からなる区域, 分単位で指定される時間帯) を登録する。バス内に設置された PC は接続状態になるたびサーバ上のリストを取得し動機を行う。クライアントはリストにあるコンテンツ URL を常に取り得し続け, 取得したコンテンツをキャッシュする。サイネージ部では現在の位置情報, 時刻に基づいて, コンテンツのリストから表示すべきコンテンツを選択し, 取得とは非同期に指定時間キャッシュを表示する処理を行う。

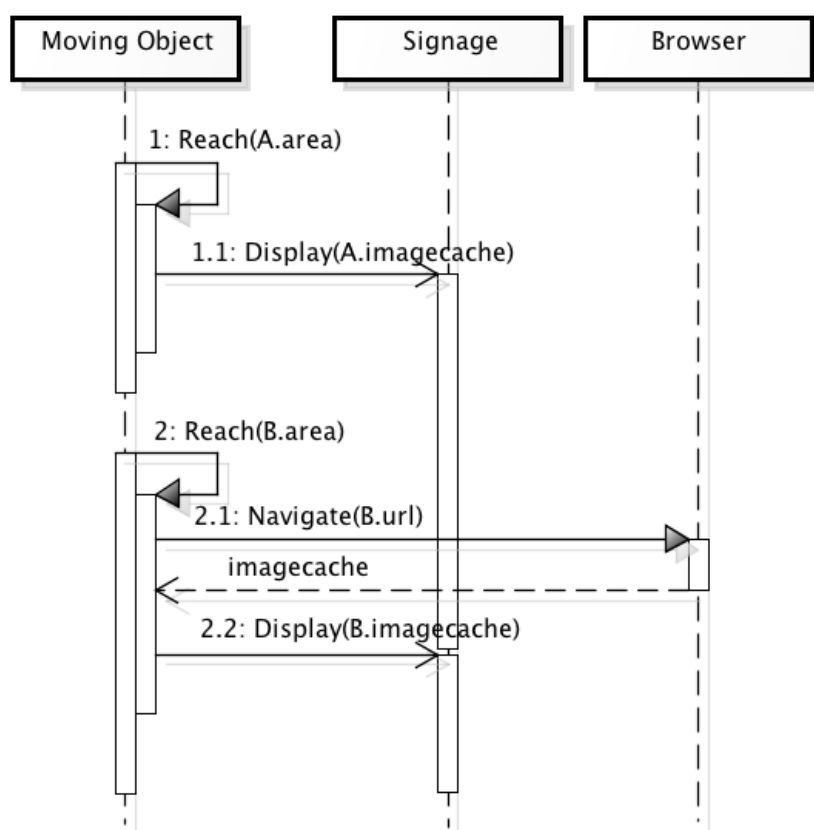


図 6.2: 無線環境が安定時の取得と表示のシーケンス図

6.2 無線環境における取得開始と中断の制御

クライアントは逐次 WiMAX の CPE に SNMP を通じて RSSI と WAN 側の IP アドレスを取得する。閾値 k を -75dBm とし、RSSI が閾値 k を超えている、かつ IP アドレスが取得されているという 2 つの条件を満たしたとき接続状態と判断する。クライアントが接続状態になったとき、サーバのリストとの同期を行った後、逐次コンテンツの取得を開始する。また、非接続状態になった時、ブラウザコンポーネントのページ取得処理を中断させる制御を行う。

6.3 即時性を実現する取得コンテンツの選択

配信における即時性を満たすために 7.2.2 節で提案した手法を設計する。

6.3. 即時性を実現する取得コンテンツの選択

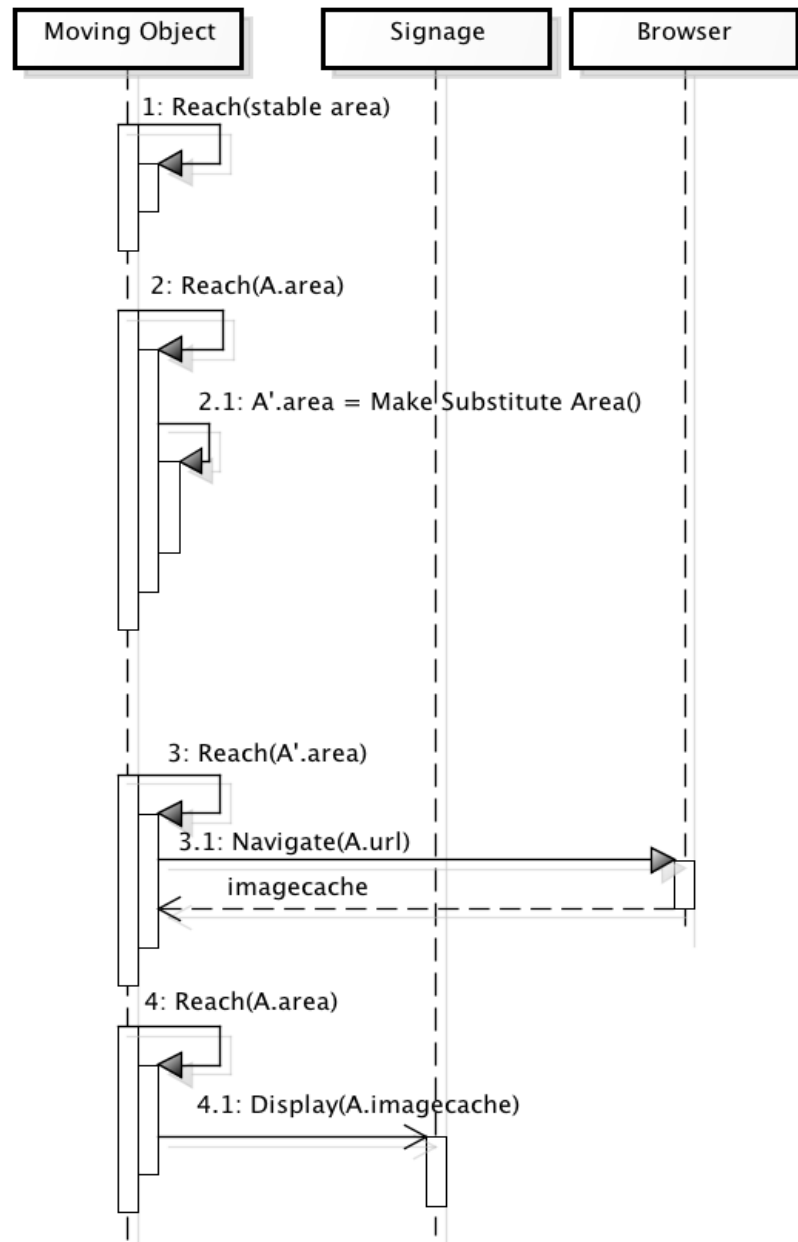


図 6.3: 無線環境が不安定時の取得と表示のシーケンス図

取得完了から表示するまでの時間を短縮化するためには、表示の直前に取得を開始する必要がある。コンテンツはそれぞれ表示時間を持っているのでクライアントアプリケーションがあるコンテンツの条件コンテキストが満たした時、コンテンツは即座に表示されず現在サイネージに表示されるコンテンツの表示時間を終えた時に、現在の実空間コンテキストが満たす条件コンテキストを検索し、条件コンテキストに対応したコンテンツを表示する (図 6.2).

クライアントアプリケーションは逐次接続状態であった地点を記録している。コンテンツの取得条件と表示条件を一致させるとき、取得区域の通信品質が不安定であるならばその取得区域に対応したコンテンツの取得を行うための代理の条件を記録された接続状態の地点の連続から成る区域条件と元々の時刻条件から生成する。クライアントアプリケーションが生成された代理の条件を満たすとき、クライアントアプリケーションは元の条件コンテキストに対応したコンテンツの取得を行う (図 6.3).

6.4 本章のまとめ

不安定な無線環境に応じたコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムでは CPE を通じて接続状態の判断する。接続時にはサーバ上の配信コンテンツリストとの同期をとり、逐次、接続状態とリストのコンテキスト条件から、クライアントのコンテキストに対応したコンテンツを取得・表示する。このとき、位置コンテキスト条件が示す領域において非接続状態で無線が不安定である区域ならば、記録された接続状態の点の連続からコンテンツの取得の行うための代理の位置コンテキスト条件を生成する。

次章では本章で提案した設計の実装方法を述べる。

第7章 実装

第6章の設計に基づき，SoKanKan Signage Web Manager と SKKClient を実装した．SoKanKan Signage Web Manager はコンテンツリストを管理する WEB アプリケーションである．SKKClient は第5章で提案されたアプローチを用いてコンテンツの取得表示を行うアプリケーションである．SoKanKan Signage Web Manager と SKKClient を連携することにより不安定な無線環境におけるコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムを実現する．

7.1 SoKanKan Signage Web Manager の実装

SoKanKan Signage Web Manager はサーバ上において実行される Ruby on Rails アプリケーションである (図 7.1)．SoKanKan Signage Web Manager では位置と時間に基づいて配信するコンテンツを入力するためのアプリケーションである．位置のコンテキスト条件は Google Map JavaScript API V3[25] を用い入力し，配信コンテンツ名，配信コンテンツを示す URL，表示時間，時間のコンテキスト条件はカラムに直接入力を行うことで登録される．

SoKanKan Signage Web Manager は登録された内容に基づき XML(図 7.2) を出力する．コンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムにおけるクライアントアプリケーションである SKKClient は接続状態になるたび逐次，サーバ上の XML を取得し解釈することで配信コンテンツのリストをサーバと同期することが可能とされる．



図 7.1: SoKanKan Signage Web Manager のインターフェイス

7.2 SKKClient の実装

7.2.1 SKKClient の設備構成

SKKClient はバス内に設置され、コンテンツの取得とサイネージへの表示を扱う C# アプリケーションである。アプリケーションがインストールされたボックスコンピュータ CONTEC IPC-BX955(図 7.3(a)) には GPS 受信機である GT-730F/L(図 7.3(b)) と WiMAX CPE 端末 JRL-900(図 2.3(c)) が設置・接続されている。

7.2.2 SKKClient のモジュールの実装

ClientState クラス

ClientState クラスはクライアントの状態を格納するクラスである (図 7.4)。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Contents type="array">
  <Content>
    <id type="integer">1</id>
    <name>rg</name>
    <url>http://rg.sfc.keio.ac.jp/</url>
    <display-time type="integer">10</display-time>
    <latitude-min type="float">35.3875105576428</latitude-min>
    <latitude-max type="float">35.3886476241433</latitude-max>
    <longitude-min type="float">139.425194263458</longitude-min>
    <longitude-max type="float">139.426310062408</longitude-max>
    <time-min type="integer">600</time-min>
    <time-max type="integer">1140</time-max>
    <created-at type="datetime">2010-10-20T04:15:56Z</created-at>
    <updated-at type="datetime">2010-12-05T02:20:00Z</updated-at>
  </Content>
  ...
</Contents>
```

図 7.2: WEB インターフェイスから出力される XML



(a) ボックスコンピュータ CONTEC IPC-BX955



(b) GPS 受信機 GT-730F/L

図 7.3: シャトルバス内設置機器

CapBrowser クラス

CapBrowser クラスは WebBrowser コントロールを使用するためのクラスを継承し、レンダリングされた WEB ページを png 画像としてキャッシュする機能とナビゲーションの

```

public class ClientState
{
    public static float latitude { get; set; } // 緯度
    public static float longitude { get; set; } // 経度
    public static int rssi { get; set; } // RSSI 値
    public static string ip { get; set; } // IP アドレス
    public static bool isConnected { get; set; } // 接続状態
    public static Stopwatch swDisplayedTime { get; set; }
    // コンテンツの表示経過時間
}

```

図 7.4: ClientState の実装例

成功/失敗をコールバックさせるためのリスナーを割り当てることのできるクラスである。

ページがレンダリングされたときにコールバックのルーチンを呼び出すためには DocumentCompleted イベントにハンドラを割り当てる必要がある。この時、WEB ページの取得に際してエラーのハンドリングを行う必要がある。WebBrowser クラスのエラーのハンドリングを行うためには Shdocvw.dll で提供されている WebBrowser コントロールを用いなければならない。この WebBrowser コントロールは ActiveX コントロールインターフェイスを公開し、Internet Explorer の機能が実装される [26]。これにより WebBrowser.ActiveXInstance を SHDocVw.WebBrowser にキャストしたインスタンスが持つ NavigateError イベントに対してハンドラを割り当てることのできる (図 7.5)。

GetOrderManager クラス

GetOrderManager クラスは取得すべきコンテンツを選択する処理を行うクラスであり、章で提案されたアプローチを備える (図 7.6)。GetOrderManager クラスは接続点を記録する pushPos メソッド、代理取得区域を生成する addSubstArea メソッド、サーバと同期したコンテンツリストと代理取得区域のリストを元に取得するコンテンツを選択する search メソッドを持つ。

スレッドごとの役割

SKKClient 内では以下のスレッドが動作する。

```
public class CapBrowser : WebBrowser
{
    private bool hasNavigateError = false;
    public CapBrowser()
    {
        DocumentCompleted +=
            new WebBrowserDocumentCompletedEventHandler(DocumentCompleted);
        SHDocVw.WebBrowser axBrowser =
            (SHDocVw.WebBrowser)this.ActiveXInstance;
        axBrowser.NavigateError +=
            new SHDocVw.DWebBrowserEvents2_NavigateErrorHandler(
                NavigateError);
    }

    private void DocumentCompleted(object sender,
        WebBrowserDocumentCompletedEventArgs e)
    {
        if(hasNavigateError)
            hasNavigateError = false;
        else
            capture("cache.png");
    }

    private void NavigateError(object o, ref object url,
        ref object frame, ref object statusCode, ref bool cancel)
    {
        hasNavigateError = true;
    }

    public bool capture(string filename)
    {
        // レンダリングされたWEB ページをファイルとして保存する処理
    }
}
```

図 7.5: CapBrowser のイベントの実装例

jrcpeTimer このスレッドは 3 秒ごとに WiMAX CPE 端末に対し、SNMP を通じて RSSI と IP アドレスを取得し ClientState に値を代入する。また、ClientState が示す RSSI が閾値である -75dBm を上回っているかと ClientState が示す IP アドレスが取得されているかを調べ ClientState.isConnected に接続状態を代入する。

gpsSerialPort_DataReceived このスレッドは GPS 端末からデータが受信されるたび呼び出されるスレッドである。送られたデータを解釈し緯度と経度を求め ClientState に値を代入する。

navigateTimer このスレッドは 1 秒ごとに呼ばれる。ClientState が示す isConnected が接続状態かつ CapBrowser コンポーネントがコンテンツの取得を行っていないときに CapBrowser の navigate メソッドを呼び出す。サーバと同期されたリストと GetOrderManager クラスの持つ代理取得区域のリストを基に、位置と時間に応じてコンテンツの選択取得を行う。ClientState が示す isConnected が非接続状態かつ CapBrowser コンポーネントがコンテンツの取得を行っているとき、CapBrowser の Stop メソッドを呼び出し、コンテンツの取得を中断する。

signageTimer このスレッドは 1 秒ごとに呼ばれ、表示処理と GetOrderManager クラスを用いた代理取得区域生成と接続点の記録の処理を行う。表示処理としてサイネージに表示しているコンテンツの表示経過時間 ClientState.swDisplayedTime がコンテンツごとに設定された表示時間を上回った時、サーバと同期されたリストに元に表示コンテンツの切り替えを行う。表示の切り替えを行った時、位置と時間から選択されたコンテンツのキャッシュが存在しておらず ClientState が示す isConnected が非接続状態であるならば、GetOrderManager クラスに代理取得区域の生成を行わせる addSubstArea メソッドを呼び出す。また、ClientState が示す isConnected が接続状態であった時、GetOrderManager クラスに接続点を記録する pushPos メソッドを呼び出す。

7.3 本章のまとめ

本章では前章で示した設計に基づき、サーバで動作するアプリケーション SoKanKan Signage Web Manager とクライアントで動作するアプリケーション SKKClient の実装方法を述べた。

7.3. 本章のまとめ

次章では本研究の評価について述べる.

```
public class GetOrderManager
{
    private static GetOrderManager instance;
    private int pos_buf = 15; // 接続点の記録可能な個数
    private float[] connectedLat; // 記録された接続点の緯度を示す配列
    private float[] connectedLon; // 記録された接続点の経度を示す配列
    private static Dictionary<Area, int> substDict =
        new Dictionary<Area, int>();
    // 位置コンテキスト条件とコンテンツIDをひもづける
    // 代理取得区域のハッシュテーブル(リスト)

    public static GetOrderManager GetInstance()
    {
        if(instance == null) instance = new GetOrderManager();
        return instance;
    }
    private GetOrderManager()
    {
        connectedLat = new float[pos_buf];
        connectedLon = new float[pos_buf];
    }
    public void pushPos(float lat, float lon)
    {
        // 引数で得られた緯度と経度を
        // 接続点を記録する配列connectedLat, connectedLonに追加する.
    }
    public void addSubstArea(int id)
    {
        // 該当コンテンツIDにおける代理取得区域を生成する
    }
    public int search(float lat, float lon, Dictionary<int, Content>
        contentsDict)
    {
        // 位置,時間のコンテキストから取得すべきコンテンツを選択する.
    }
}
```

図 7.6: GetOrderManager の実装例

第8章 評価

本章では本研究の提案手法によって得られる要素，不安定な無線環境におけるコンテンツの取得・中断の制御による取得効率，即時性を持たせるための取得コンテンツの選択手法によるコンテンツ取得と表示における時間差の短縮化をそれぞれ定量評価する．

8.1 取得と中断の制御による取得効率の定量評価

取得効率を評価するため，無線環境によらず取得をし続ける継続取得手法 (continuous) と提案した無線環境に応じて取得，中止を行う提案取得手法 (proposal) をそれぞれ二度，バスを三周させ実験した．実験において，それぞれの周回で IP アドレスが取得できている時間に対していくつコンテンツ取得できたかを求め，単位秒あたりのコンテンツ取得数を図 8.1 で示す．

1 回目の走行は比較的無線環境の変動が比較的少なかったため，継続手法と提案手法は同等の性能を示している．しかし，2 回目，3 回目の走行では大きな差が生じている．継続取得手法では，無線環境が良好でない区域でコンテンツのリクエストを行うことで，ブラウザコンポーネントはサーバにリクエストが送られていないコンテンツの取得の待機を行っているため，接続が復旧しリクエストを送ることができる状態になっても新たなコンテンツを取得できず効率的に取得できないことが確認できた．提案手法では無線環境に応じてコンテンツの取得と中断を行い継続取得手法に比べ効率的にコンテンツの取得を行うため，従来方法と比べて最大 20.3 倍のコンテンツを同じ区間を走行する間に取得することができる．

8.2 即時性を持たせるための取得コンテンツの選択手法

取得時刻と表示時刻の時間差を評価するため，[18] で実装されたコンテンツ表示アプリケーションと同様のコンテンツのリストの ID 順に取得する手法 (list order) と提案した位

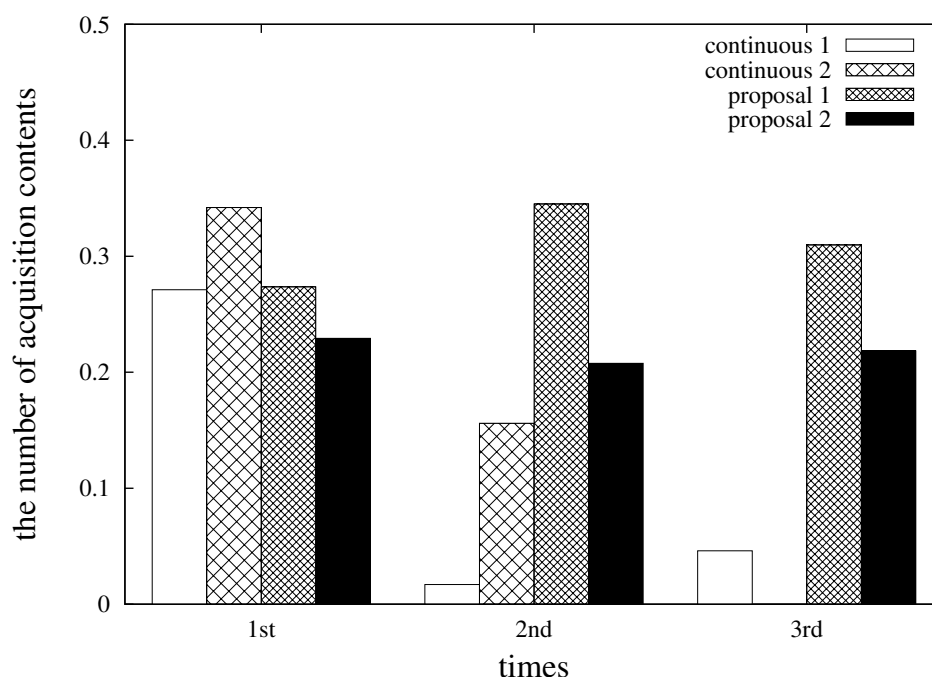


図 8.1: 1 秒あたりのコンテンツ取得数

置情報と時間に基づいた取得コンテンツ選択手法 (context order) を，コンテンツ数が 20 と 40 の時に対して比較実験を行った (図 8.2)。

図 8.2 では，リストの ID 順に取得する手法によって発生する時間差を 100%としたときの提案手法の時間差の割合を示している。位置と時間に基づき取得コンテンツを選択することで，表示の直前に該当コンテンツの取得を行い取得時刻と表示時刻の時間差を最大 33%縮めることができる。

8.3 本章のまとめ

本章では提案手法についてそれぞれ定量評価を行った。無線環境に応じた取得と中断制御により，取得効率を最大 20.3 倍まで効率化した。即時性を持たせるための取得コンテンツの選択を行うことでコンテンツの取得時刻と表示時刻の時間差を最大 33%縮めることができた。

次章では本論文をまとめ，今後の課題について述べる。

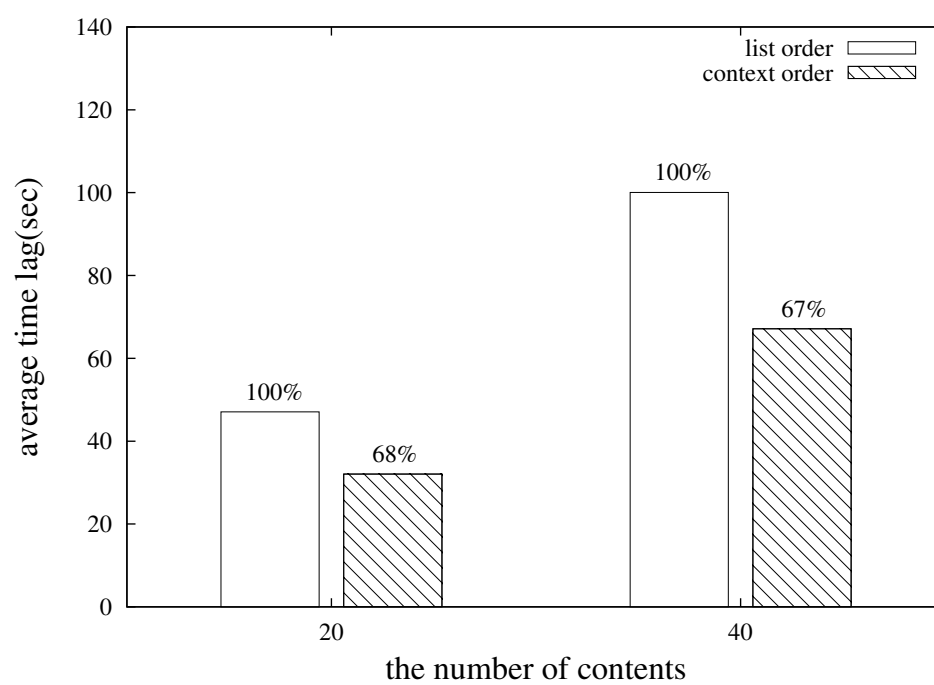


図 8.2: 取得時刻と表示時刻の時間差の平均

第9章 結論

公共交通機関に代表される移動体内で，移動体の場所・時間に合致したコンテンツを動的にネットワークから取得し表示するためには，無駄な再送制御による通信遅延及びコンテンツに合致した最新情報の取得という課題を解決する必要がある．現実の無線環境では通信の途絶や遅延が避けられないためである．

本研究では，無線環境の監視と統計処理によりコンテキストに応じたコンテンツ取得の選択の機能を備えるコンテキストウェア移動デジタルサイネージシステムを提案し，大学構内巡回バスを用いて行った実証実験でその効果を定量的に評価した．無線環境に応じ取得開始と中断の制御を行うことで，無駄な再送制御が排除することができるため，効率的にコンテンツを配信することができる．これにより，同一走行区間あたりの配信コンテンツ数で比較すると，最大 20.3 倍の性能向上が実現できる．また，コンテンツの位置と時間のコンテキストに応じて取得コンテンツを選択することで，コンテンツ取得時刻から表示時刻までの時間を最大 33%短縮できる．

付 録 A コンテンツリスト

表 A, 図 A.1, 図 A.2 は第 8 章の評価実験で用いたコンテンツリストであり, 実際の運用を想定し生成した. また, 各々のコンテンツの表示時間は 10 秒に設定した.

表 A.1: 評価実験に用いた 40 個のコンテンツリスト

ID	サイズ (KB)	開始時刻	終了時刻
1	569	10:30	14:30
2	250	10:00	19:00
3	434	10:00	19:00
4	360	10:00	19:00
5	549	10:00	19:00
6	418	10:00	19:00
7	156	10:00	19:00
8	647	10:00	19:00
9	311	10:00	19:00
10	817	10:00	19:00
11	266	10:00	19:00
12	74	10:00	19:00
13	988	16:00	19:00
14	1399	10:00	13:00
15	78	15:00	19:00
16	717	10:00	16:00
17	856	14:00	19:00
18	442	10:00	15:00
19	348	10:00	15:00
20	197	10:00	14:00

ID	サイズ (KB)	開始時刻	終了時刻
21	78	10:00	13:00
22	270	15:00	19:00
23	1194	10:00	19:00
24	938	10:00	19:00
25	12	10:00	19:00
26	782	10:00	19:00
27	86	10:00	19:00
28	156	15:00	19:00
29	418	10:00	13:00
30	225	10:00	12:00
31	631	10:00	15:00
32	1089	16:00	19:00
33	647	15:00	19:00
34	1028	10:00	14:00
35	414	10:00	16:00
36	258	10:00	12:00
37	1045	16:00	17:00
38	168	15:00	19:00
39	41	10:00	19:00
40	111	13:00	19:00

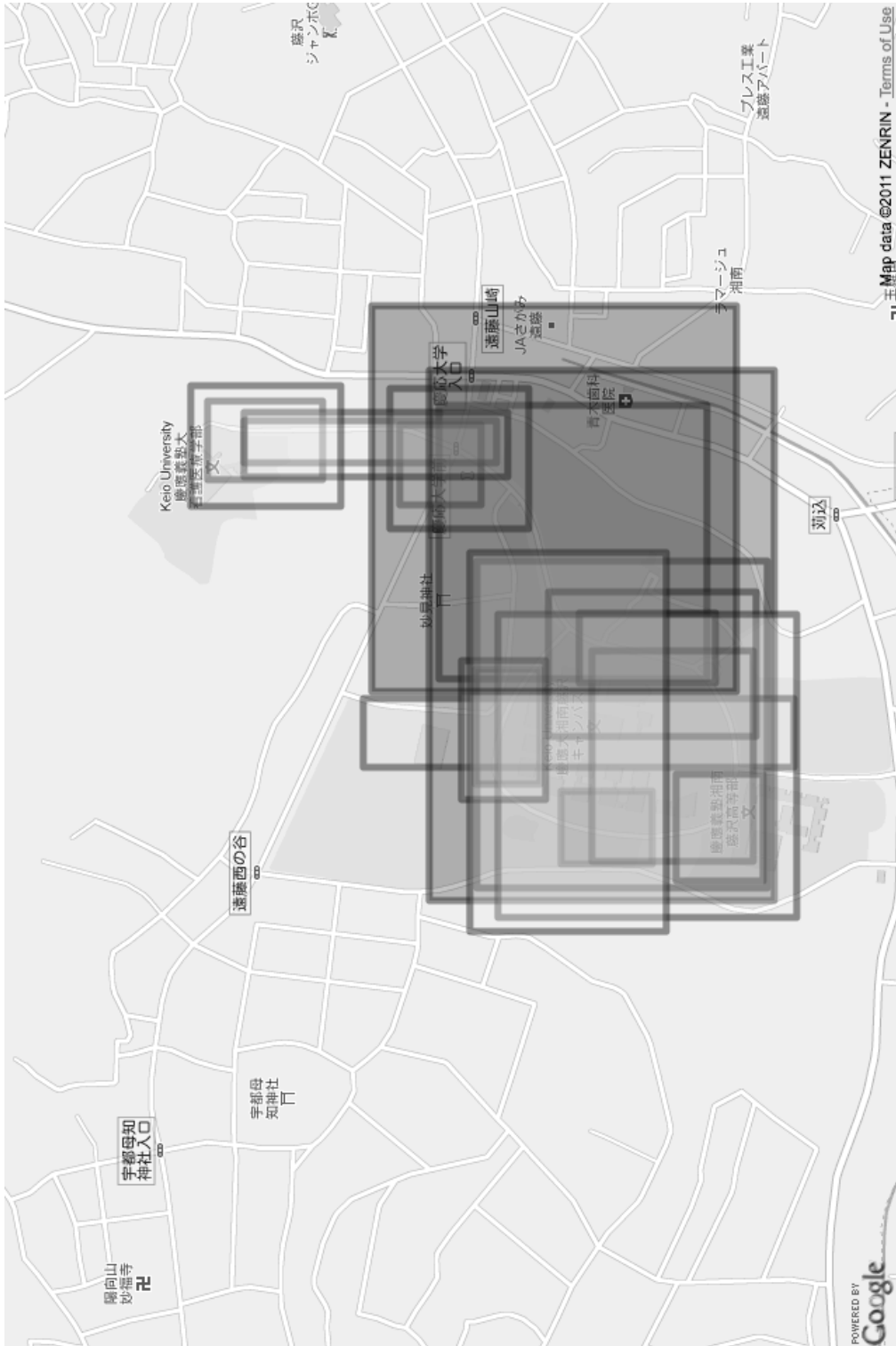


図 A.1: コンテンツ ID1～20 を用いたときの区域の条件コンテンツリストの分布

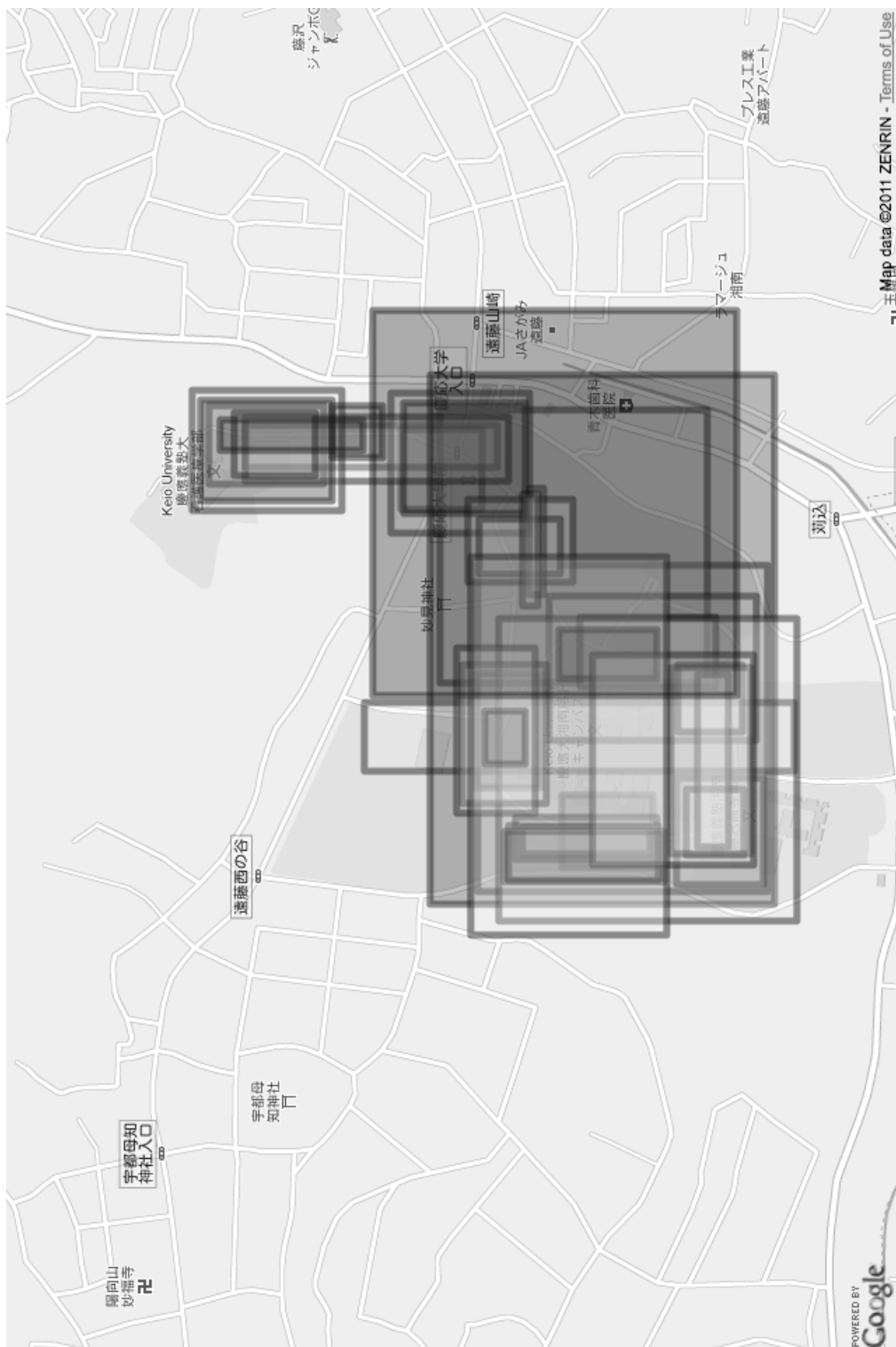


図 A.2: コンテンツ ID1～40 を用いたときの区域の条件コンテンツの分布

謝辞

本論文執筆にあたり、ご指導いただきました慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士、並びに同学部教授徳田英幸博士、同学部教授中村修博士、同学部准教授楠本博之博士、同学部准教授高汐一紀博士、同学部専任講師重近範行博士、同学部准教授 Rodney D. Van Meter 博士、同学部准教授植原啓介博士、同学部専任講師中澤仁博士、同学部教授武田圭史博士に感謝致します。

研究を進めるにあたり、ご指導とご助言をいただきました慶應義塾大学環境情報学部准教授三次仁博士、並びに同大学大学院政策・メディア研究科特別研究講師羽田久一博士、同研究科特別研究講師稲葉達也博士、同研究科特別研究助教鈴木茂哉氏、同研究科特別研究助教中根雅文氏に感謝致します。また、研究活動においてお世話になりました、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程杉本健一氏、株式会社日放電子白石雅彦氏に感謝致します。

Auto-ID Lab. Japan において研究生活を共にした慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程神谷尚保氏、並びに同研究科修士課程江村圭吾氏、鈴木詩織氏、山口修平氏、同大学 SFC 研究所金仙麗氏、同大学環境情報学部山田真弘氏、広石達也氏、能島良和氏、佐藤友紀氏、横石雄大氏、Doan Hoai Nam 氏、五十嵐祐貴氏、同大学総合政策学部米村茂氏、富田千智氏、同大学商学部齋藤俊氏に感謝致します。特に能島良和氏には本実験を進めるにあたって御助力をいただきました。

本研究の先行研究として研究を進められ、研究を進める際に助言をいただきました株式会社インターネットイニシアティブ佐藤龍氏に感謝致します。

本論文の進捗を暖かい目で見守ってくださったさくらの VPS 氏、redmine 氏、git 氏に感謝致します。以上の方々の御助力なしにはバグ管理やコミットの revert は成し遂げられませんでした。

四年間の大学生活の中、学内外で学業・事業・芸術活動を志とした多くの方と交流させていただきました。皆様の知識や視野、ひたむきさが私にとって大きな学びとなり、その成果の一つとして本論文の執筆の達成になりました。心から感謝致します。

最後に 23 年間に支えていただいた父，母，兄，愛犬に心から感謝致します。
以上を持って謝辞とさせていただきます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 中村伊知哉, 石戸奈々子. デジタルサイネージ革命. **朝日新聞出版**, 2009. 1.1, 2.2, 2.4
- [2] 宮崎 圭太, 能島 良和, 三次 仁, 中村 修, 村井 純. 不安定な無線環境におけるコンテキストに応じた移動デジタルサイネージシステム. **電子情報通信学会技術研究報告** Vol. 110, No. 376, MoMuC2010-68, pages 49–54, 2010. 1.3
- [3] Anind K. Dey and Gregory D. Abowd. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. *HUC '99 Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, 1999. 2.1
- [4] 森川博之, 南正輝. 実空間指向ユビキタスネットワーク. **電子情報通信学会論文誌 B** Vol. J88-B No. 11, pages 2137–2146, 2005. 2.1
- [5] 坂本寛幸, 井垣宏, 中村匡秀. センササービスのマッシュアップを実現するサービス指向基盤の提案. **電子情報通信学会技術研究報告**, Vol. 109, No. 276, pages 23–28, 2009. 2.1
- [6] トレインチャンネル | jeki (株) ジェイアール東日本企画. <http://www.jeki.co.jp/transit/train/trainchannel/>. 2.2
- [7] Olympic デジタルサイネージ活用のご提案. <http://www.maruda.co.jp/signage/img/olympic-signage-proposal.pdf>. 2.2
- [8] 江口 靖二. デジタルサイネージ～古くて最も新しい映像メディア～. **映像情報メディア学会誌** Vo. 65, No. 11, pages 1730–1733, 2008. 2.2
- [9] 服部武, 藤岡雅宣. ワイヤレス・ブロードバンド教科書高速 IP ワイヤレス編. **株式会社インプレス R&D**, 2008. 2.3.1

-
- [10] 要海 敏和. WiMAX の最新動向 標準化間近のモバイル WiMAX(802.16e). **株式会社インプレス R&D**, 2005. 2.3.1
- [11] WiMAX とは? — UQ WiMAX 高速モバイル通信、高速モバイルインターネットのデータ通信カードを提供. <http://www.uqwimax.jp/service/wimax/>. 2.3.1
- [12] HSDPA とは【High Speed Downlink Packet Access】 - 意味/解説/説明/定義 : IT 用語辞典. <http://e-words.jp/w/HSDPA.html>. 2.3.1
- [13] WiMAX による新型成田エクスプレス車内情報伝送開始について. http://www.uqwimax.jp/news_release/201003171.html. 2.3.1
- [14] 地域 WiMAX 推進協議会 — 地域 WiMAX とは. <http://www.chiiki-wimax.jp/about/index.html>. 2.3.2
- [15] 地域 WiMAX 事業マニュアル (標準) . http://www.chiiki-wimax.jp/images/upload/20100323142751_01.pdf. 2.3.2
- [16] WiMAX : ビーム計画設計株式会社 — 地域 WiMAX 設備. http://www.beam-keikaku.co.jp/system_profiles/wimax.html. 2.3.2
- [17] Antonin Guttman. R-trees: a dynamic index structure for spatial searching. *Proc. 1984 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pages 47–57, 1984. 3.1.1
- [18] 佐藤 龍. 実空間コンテキストに応じたコンテンツ配信. **慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科修士論文 (未公開)** , 2009. 3.1.1, 3.1.1, 4.2.2, 8.2
- [19] 地域 WiMAX 共通ネットワーク・ガイドライン 第 1.1 版. 地域 WiMAX 推進協議会. http://www.chiiki-wimax.jp/images/upload/20100325121609_01.pdf. 3.2.1
- [20] Internet Explorer error "connection timed out" when server does not respond. <http://support.microsoft.com/kb/181050/en-us>. 3.2.1
- [21] Takeshi YOSHIMURA, Yoshifum YONEMOTO, Tomoyuki OHYA, Minoru ETOH, and Susie WEE. Content Delivery Network Architecture for Mobile Streaming Service Enabled by SMIL Modification. *IEICE Transactions on Communications*, Vol. 86, No. 6, pages 1778–1787, 2003. 4.1.1

- [22] 森岡将史, 太田武昭, 吉村健, 米本佳史, 大矢智之, 榮藤 稔. Web サービスの Content Delivery Network への適用. **電子情報通信学会技術研究報告**, Vol. 102, No. 560, 2003. 4.1.2
- [23] 鈴木薫, 坂田浩二, 井上博之, 前田香織. デジタルサイネージ向けの地域コンテンツの自動配信手法の提案. **インターネットコンファレンス 2010**, pages 57–64, 2010. 4.1.3
- [24] Zhou Su, Masato OGURO, Jiro KATTO, and Yasuhiko YASUDA. Selective Update Approach to Maintain Strong Web Consistency in Dynamic Content Delivery. *IEICE Transactions on Communication*, Vol. 90, No. 10, pages 2729–2737, 2007. 4.2.1
- [25] Google Maps JavaScript API V3 - Google Maps JavaScript API V3 - Google Code. <http://code.google.com/intl/ja/apis/maps/documentation/javascript/>. 7.1
- [26] Internet Explorer のアーキテクチャ. <http://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/dd163924.aspx>. 7.2.2