

## コンテンツの局所性に着目した P2P 型音楽配信システム

柴田浩明 富澤智 遠藤博樹 加藤由花

産業技術大学院大学 産業技術研究科

E-mail: [yuka@aist.ac.jp](mailto:yuka@aist.ac.jp)

本稿では、ユーザが滞在する場（時空間）によって受けられるサービスの内容が異なるシステムについて考察する。特に、ユーザの嗜好を端的に表現するメディアとして「音楽」に着目し、場に応じて様々に変化するコンテンツを共有する音楽配信システムを提案する。提案システムは、携帯端末で構成されるアドホックネットワークによりサービスの局所性を実現し、各ノードの要求に従って適応的にキャッシュを配布することにより、特定ノードにかかる処理と帯域の負荷を軽減する。また、コンテンツの局所性を表現するための場の特徴量を定義し、ユーザが場の特徴量を把握することにより、意外性のあるサービスの提供を実現する。

### A P2P Network System for Music Delivery using Localization of Contents

HIROAKI SHIBATA SATOSHI TOMISAWA HIROKI ENDO YUKA KATO

School of Industrial Technology, Advanced Institute of Industrial Technology

E-mail: [yuka@aist.ac.jp](mailto:yuka@aist.ac.jp)

In this paper, we consider systems providing different services according to space-time fields of the system users. Here, our target is music in which user preferences tend to be well expressed, and we propose a music delivery system for sharing various music contents according to space-time fields. The proposed system uses ad hoc networks with mobile devices for the localization service, and uses an adaptive cash delivery method depending on each node requests in order to reduce CPU power for the cash management and sending bandwidth. Moreover, we define the feature vector of the space-time field to express localization of contents, and provide subconscious services by displaying the feature vector to system users.

#### 1 はじめに

近年、ユビキタス情報環境の発展に伴い、ユーザの状況に従い適切なサービスを提供する、コンテキストウェアネス技術に対する注目が高まってきている。位置情報を利用してユーザのコンテキストを推定し、コミュニケーション支援を行うシステム [1] や、物理的な空間に対して残したメモを空間内に入りするノード間で共有するシステム [2] など、様々な研究が行われている。一方、特にエンタテインメント系のサービスでは、ユーザの状況や嗜好にマッチしたサービスだけではなく、意外性や偶発性を持ったサービスを利用したいという要求がある [3]。このような状況では、必ずしもユーザのコンテキストに従ったサービスを提供する必要はなく、むしろ偶発的に変化する状況を利用したサービスの提供が望まれる。

このような背景から、本稿では、ユーザが滞在する場（時空間）によって受けられるサービスの内容が異なるネットワークサービスとして、コンテンツの

局所性に着目した音楽配信システムを提案する。ここでは、場の局所性や人々の嗜好を端的に表現するメディアとして「音楽」に着目し、場に応じて様々に変化するコンテンツを共有するシステムを設計する。提案システムでは、コンテンツの局所性を実現するために、携帯端末（携帯電話、携帯音楽プレーヤーなど）で構成されるアドホックネットワークを利用する。これは、アドホックネットワークでは、アクセスポイントなどの特定のインフラ設備を必要とせず、容易に局所的なネットワークを構築できるためである。また、音楽配信方式としては、ストリーミング方式を利用する。これは、ダウンロード方式で他の端末にファイルの複製が生成されると、時間の経過とともにコンテンツの局所性が表現しづらくなるためである。

これまで、局所的なネットワークにおいて音楽ファイルを共有するシステムは存在しており、その代表的なものとしてアップル社の iTunes がある [4]。iTunes に含まれる共有機能では、ユーザが音楽共有を許可した場合、同一セグメント内に限り他のユーザ

に該当音楽ファイルを配信することができる。実装としては、DAAP (Digital Audio Access Protocol) サーバと DAAP クライアント [5] を中核としたストリーミングにより、コンテンツサーバを介さないピア P2P 型システムを実現している。しかし、iTunes は比較的安定したネットワーク環境において PC 上での利用を前提としており、全ての配信をユニキャストにより実現しているため、この方式を携帯端末で構成されるアドホックネットワークにそのまま適用することは難しい。さらに、iTunes における音楽ファイルの共有はコンテンツの局所性を意識したものではないので、音楽ファイルの検索方式が、ネットワークに存在するユーザの一覧を取得した後に、各ユーザの所有する音楽ファイルを検索する方式となっている。

アドホックネットワーク環境下でのストリーミング配信については、これまでも様々な研究が行われてきた。大容量データの効率的な配信を実現するためのアプリケーションレイヤマルチキャストに関する研究 [6][7] や、配信連続性を確保するための P2P 型ストリーミング配信方式に関する研究 [8][9] などである。しかし、局所的なネットワークにおける音楽配信では、コンテンツ数が多くマルチキャストの効果が少ないと考えられること、映像ファイルと比較して音楽配信における転送レートは低いことから、マルチキャストを利用した方式の適用は考えにくい。また、リソースの限られた携帯端末の利用を考えた場合、ノードでの中継によりストリーム配信を実現する P2P 型方式は端末への負荷を考慮して避けたい方式である。このような状況においては、アドホックネットワークを構成するノードにオリジナルファイルのキャッシュを配布しておき、ファイルへのアクセスを分散させる方式が有効であると考えられる。アドホックネットワークにおけるキャッシュの配置方式については、トポロジの変化に適應した再配置方式 [10] 等が提案されているが、本稿で対象とするような「場によってコンテンツの特徴が全く異なる状況」での効率的なキャッシュ配布方式は検討されていない。

このような背景から、本稿では、各ノードの要求に従って適応的にキャッシュを配布することにより、特定のノードにかかる処理と帯域の負荷を軽減する方式を提案する。具体的には、音楽ファイルを再生したノード上にキャッシュファイルを蓄積し、自身に設定されたタイムアウト時間により、一定時間が経過したキャッシュファイルを自動的に消去する方式を提案する。

iTunes における音楽ファイル検索方式の問題を解決するためには、本稿では、コンテンツの局所性を表現するための場の特徴量を定義し、ユーザに提示するためのインタフェースを提案する。この特徴量により、ユーザは自身の移動していく場の特徴量を把

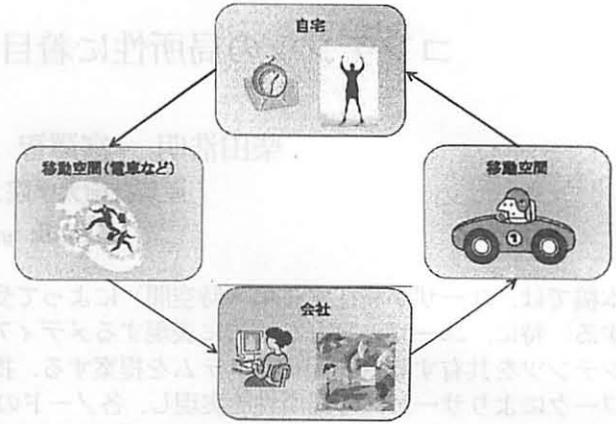


図1 コンテンツの局所性

握することができるようになり、意外性のあるサービスの提供が可能となる。

## 2 システムの概要

### 2.1 コンテンツの局所性

まず、本稿で考察対象とする「コンテンツの局所性」について説明する。私たちは常になんらかの空間に属している。例えば、自宅、オフィス、移動時に利用する電車の中など無数に挙げることができる。加えて、時間的な違い、空間を構成する要素（構成要素など）の違いなど、物理的な空間の違いの他にも、所属する場を特徴づける様々な要因が存在している。本稿ではこれらの違いを局所性と定義し、特にその場に存在するユーザが所有するコンテンツの違いによってこの局所性を定義する。具体的には、コンテンツの局所性とは、「ある小規模な空間において、その空間を構成するユーザ間のつながりの違いやその変化、さらには、その空間を構成するユーザが持つコンテンツの違い」を意味する。コンテンツの局所性のイメージを図1に示す。

ここでは、ある人物の一日に着目しているが、彼／彼女が一日の生活の中で複数の異なる場に所属していることがわかる。起床時には自宅という場にいるが、その後職場に向かうために電車に場を移し、日中は会社という場で過ごす。その後、様々な場を移動し、再び自宅に戻ってくる。それぞれの場を構成する要素は空間ごとに異なる。さらに、物理的な空間であっても、その内部を構成する要因は時間の経過とともに変化する。本稿では、このように時間に伴う場の変化についても局所性として捉えることにする。例えば、同じ電車で移動するとしても、朝のラッシュタイムと夕方とは、その場は全く異なるものとなる。

### 2.2 システムの特徴

前述したコンテンツの局所性を効率的に表現するためには、局所的な空間で実際にネットワークを構成できることが望ましい。そこで我々は、アドホック

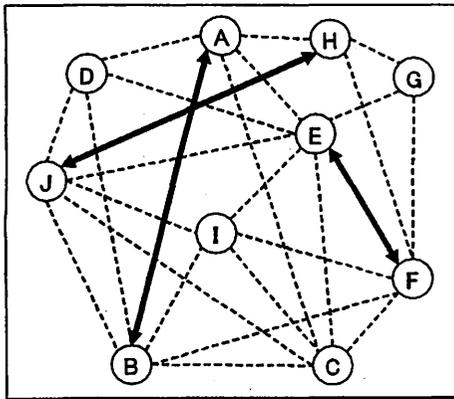


図2 ネットワークのイメージ

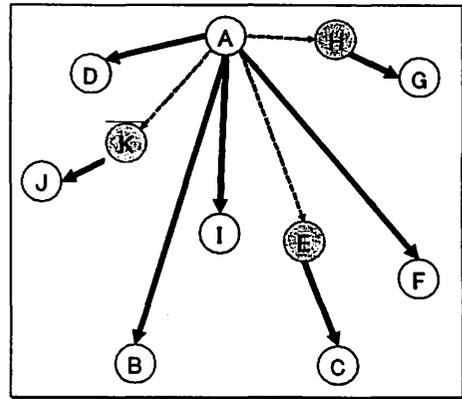


図3 音楽配信のイメージ

クネットワークを利用し、さらに局所性を実現するために、このネットワークの範囲を区切ることとした。具体的には、ノード間の最長距離が100m程度の範囲を考察対象とする。ネットワークのイメージを図2に示す。

枠内の○は個々の端末を表す。端末としては、携帯電話、携帯音楽プレーヤーなど、ユーザが常に持ち歩いているものを想定する。また、音楽共有を行うために、個々の端末にはユーザ自身が保有する音楽ファイルが保存されているものとする。外枠は局所的なネットワーク空間の境界を表現し、オフィス、大学の教室、カフェ、電車内などの区切られた空間を想定している。駅のホームなど、空間を仕切る壁が存在しない場合には、各ノードから半径50m程度の空間を局所的なネットワーク空間と想定する。

提案システムは、コンテンツの局所性に対応した音楽配信システムを実現するために、キャッシュを利用した音楽配信、音楽ファイルの特徴を利用した局所性の表現、という2つの特徴を有している。以下、それぞれについて説明する。

### 2.2.1 キャッシュを利用した音楽配信

提案システムでは、効率的な音楽配信を実現するためにキャッシュを利用するが、ここでは以下の2つの問題を解決する必要がある。

- コンテンツの局所性に関する問題：  
局所的なネットワークを対象としていることから、空間に存在するファイルは時々刻々と変化する。そのため、コンテンツの偏りに影響を受けない、ロバストなキャッシュ配布方式を実現する必要がある。
- 携帯端末に関する問題：  
CPUパワー、メモリ量、ディスク容量、バッテリーなど、リソースに対する制約が多い。そのため、可能な限り簡易な処理で効率的にキャッシュを配布する必要がある。

これらの問題を解決するために、本稿ではキャッシュ配置の最適化を行わず、各ノードからの要求に従って適応的にキャッシュを配布する方式を提案す

る。具体的には、一度音楽ファイルを再生したノード上にキャッシュを蓄積していく。さらに、各ノード自身が持つタイマーを利用し、一定時間が経過したキャッシュを自動的に消去することにより、キャッシュ管理の分散化を実現する。キャッシュを利用した音楽配信のイメージを図3に示す。ここでは、Aが持つオリジナルファイルを複数のノードが再生している様子を示す。E、H、Kは、以前にこの音楽ファイルの配信を受け、キャッシュを蓄積しているノードである。Aは、あるノードからの再生要求があると、自身が直接配信を行うだけでなく、キャッシュが存在しているノードを紹介することにより、キャッシュからの音楽配信を促す。例えば、BはAから直接配信を受けているが、Jはキャッシュ保有ノードKをAに紹介してもらい、Kから音楽ファイルの配信を受ける。

この方式により、再生要求の多い音楽ファイルのキャッシュは広くネットワーク上に配布され、かつキャッシュの管理は各ノード上で分散して行われるため、処理のオーバーヘッドが低く抑えられる。本方式では、オリジナルコンテンツの分布等をいっさい仮定していないので、コンテンツに偏りがある場においても適応的なキャッシュ配布が可能になる。

### 2.2.2 音楽ファイルの特徴を利用した局所性の表現

提案システムでは、コンテンツの局所性を利用して、ユーザに意外性のあるサービスの提供を実現するが、そのためには、局所性を何らかの指標としてユーザに提示する必要がある。本稿では、ユーザが属する場に存在する音楽ファイルの特徴の偏りによって、局所性を表現する。特徴の表現方法としては、音楽ファイルのメタデータを利用することが考えられるが、本稿においては、蓄積されている音楽ファイルのジャンルの偏りによって、場の特徴量を表現する。具体的には、J-POP、クラブ・ダンス、ジャズ、童謡・教育、ロック・ポップ、クラシック、ワールドミュージック、その他の8つのジャンルを利用し、ジャンルの偏りを色により表現する。イメージを図4に示す。



図4 局所性の表現

### 3 システムの提案

#### 3.1 システムの構成

前章で述べた特徴を実現するために、以下の5つの機能からなるシステムを設計した。システムの構成を図5に示す。

- **アドホック通信機能：**  
アドホックネットワークを構成するための機能であり、この機能を利用して各ノードは対象ネットワークに参加する。本稿では、局所性を実現するためにネットワークの範囲を限定しているが、ネットワークの限定は場に存在するコンテンツの取得範囲と考えることができるため、本機能を利用してのネットワークの限定は行わない。
- **ファイルリスト送受信機能：**  
アドホックネットワークに参加すると、ネットワークに参加しているノード、および音楽ファイルのジャンル傾向から算出されるノードの特徴量が全ノードに配信される。この機能を実現するのがファイルリスト送受信機能である。ノード参加後、ユーザはノード一覧からあるノードを選択することになるが、そのとき該当ノードが持つ音楽ファイルリストが配信される。この機能もファイルリスト送受信機能により実現される。
- **特徴量算出機能：**  
各ノードの特徴量は、該当ノードが所有する全音楽ファイルのジャンルの傾向から、特徴量算出機能によりあらかじめ算出されている。この特徴量は、ネットワーク参加時に全ノードに配信される。また、ネットワークに参加すると、全ノードから受信したノードの特徴量を利用し、場の特徴量が算出される。この処理も、特徴量算出機能により実現される。
- **ストリーミング機能：**  
ユーザがファイルリストから音楽ファイルを選択し、再生を行うと、ストリーミングが開始さ

れる。ストリーミングの処理は、再生（受信）、配信（送信）ともにストリーミング機能により実現される。

- **キャッシュ管理機能：**  
このとき、配信ノードでは、送信ノード DB に送信先情報を登録し、キャッシュが削除される時間までのカウントダウンを開始する。一方、再生要求ノードでは、ストリーミングをキャッシュとして蓄積すると同時に、そのキャッシュ情報をキャッシュ DB に反映させる。これらの処理はキャッシュ管理機能により実現される。

以下、提案システムの特徴である、キャッシュ管理機能、および特徴量算出機能について詳述する。

#### 3.2 キャッシュ管理機能

キャッシュ管理機能は、送信ノード DB とキャッシュ DB から成る。送信ノード DB は、オリジナルファイルを保有するノードが、キャッシュの配布を管理するための DB である。一方、キャッシュ DB は、キャッシュを保有するノードが自らのキャッシュファイルの情報を管理するための DB である。提案方式では、これらのデータを各ノードが分散管理することにより、効率的なキャッシュ管理を実現している。機能の詳細について、以下に述べる。

##### 3.2.1 キャッシュの配布

キャッシュの配布は、音楽ファイルの再生要求を契機に行われる。再生元のファイルがオリジナルファイルであろうと、キャッシュファイルであろうと、音楽ファイルを再生したノードではキャッシュの蓄積が開始され、たとえ途中で音楽ファイルの再生が中止された場合でも、キャッシュの蓄積を継続する。キャッシュファイルは、一定期間内に再生要求がなかった場合には自動的に消去される。そのため、キャッシュの蓄積が終了した時点でタイマーを駆動し、タイムアウトが発生したキャッシュを削除する。また、キャッシュの蓄積時にキャッシュ容量が保有限度を超えた場合には、消去されるまでの時間が短いファイルから順に消去していく。タイムアウトまでの時間等、キャッシュファイルに関する情報はキャッシュ DB によって管理される。一方、キャッシュの配布先はオリジナルファイルを保有するノードの送信 DB によって管理されるので、キャッシュの蓄積が終了した時点で、キャッシュに関する情報（タイムアウトまでの時間、キャッシュが削除された情報）をオリジナルファイルを保有するノードに送信する。これらのデータは送信ノード DB で管理される。

##### 3.2.2 音楽ファイルの再生

各ノードは他のノードへの音楽ファイルの配信上限数  $N$  を持っており、この数を超えない限り、再生要求に対してオリジナルファイルの配信を行う。ノードへの配信要求が  $N$  を超えた場合は、送信ノ

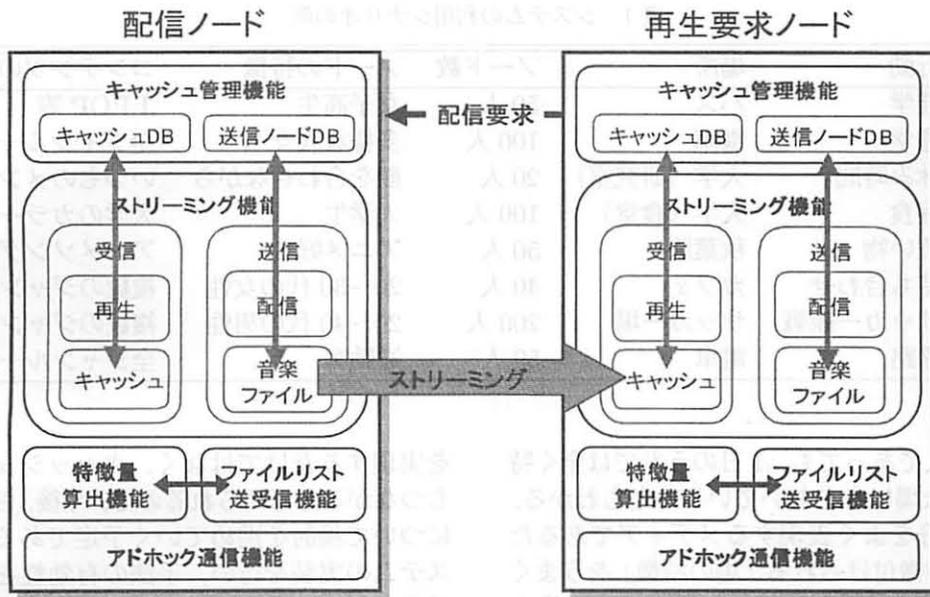


図5 システムの構成

ド DB がキャッシュを保持するノードを調べ、タイムアウトまでの時間の短いノードから順番に、再生要求ノードに通知する。通知されたノードも  $N$  を超えている可能性があるため、再生要求に応じるノードが見つかるまでこの処理を繰り返す。キャッシュファイルの再生を開始した時点で、このキャッシュに対するタイムアウトまでの時間を更新し、キャッシュ DB および送信ノード DB の内容を変更する。キャッシュの配信が可能なノードが見つからなかった場合には音楽の配信は行われない。

### 3.2.3 ノードの離脱

アドホックネットワークでは、ユーザがネットワークを構成している空間から移動していなくなる場合、電波干渉などによりアドホック通信が維持できなくなった場合などにノードの離脱が発生する。音楽ファイルを配信していないノードが離脱する場合は、送信 DB におけるキャッシュ保有ノードとの不整合が発生すること以外、大きな問題はない。キャッシュは一定時間が経過すると消去されるので、この不整合も致命的な問題にはならない。一方、音楽配信を行っているノードが離脱した場合には、何らかの配慮が必要である。オリジナルファイルを配信しているノードが離脱した場合には、キャッシュの配布状況を知る手段が存在しないので、配信をあきらめる。一方、キャッシュファイルを配信しているノードが離脱した場合には、再生を行っていたノードはオリジナルノードに配信の遮断を通知し、代わりにキャッシュの紹介を受ける。この通知により、送信ノード DB の情報は更新される。

### 3.3 特徴量算出機能

局所性を表現する場の特徴量は、蓄積されている音楽ファイルのジャンルから算出する。特徴量の算

出方法としては、場に存在する全ての音楽ファイルの持つジャンルの分布を基に、傾向を分析する方法などが考えられる。しかし、場に存在する各ノードが、場に存在する全ての音楽ファイルのリストを入手し、定期的の特徴量の計算を行う方式は通信量、計算量の観点から現実的な方法とは言えない。そこで、提案方式では、各ノードが自身の保持する音楽ファイルのジャンルからノードの特徴量をあらかじめ算出しておき、場に存在するノードの特徴量から場の特徴量を算出することとした。

ここでは、各音楽ファイルは前述した 8 つのジャンル (J-POP、クラブ・ダンス、ジャズ、童謡・教育、ロック・ポップ、クラシック、ワールドミュージック、その他) に分類されていると仮定し、それぞれのジャンルに含まれる曲数を 8 次元ベクトルとして保持しておく。そして、場に存在するノードが保有する特徴量ベクトルの和として、場の特徴量ベクトルを算出する。特徴量の表示方法は、8 つのジャンルを色で表現し、バー形式で曲数の多い少ないを表現する。

## 4 考察

本章では、提案システムの有効性を確認するために、ある大学生の 1 日の生活を表現するシナリオを用意し、場に応じたコンテンツの局所性について考察する。1 日の生活を時系列で表現し、空間、存在するノードの特徴、場に存在するコンテンツの特徴量等を抽出した一例を表 1 にまとめた。

シナリオ例から、人々は 1 日のなかでも様々な場を移動しながら生活しているが、それぞれの場にある程度の時間滞在していることがわかる。この滞在時間は、通常、音楽を聞くのに十分な時間である。ま

表1 システムの利用シナリオの例

	行動	場所	ノード数	ノードの特徴	コンテンツの特徴量
08:30	通学	バス	50人	女子高生	J-POP等
09:00	通学	電車	100人	多様な人々	全ジャンル一様
10:30	休み時間	大学(研究室)	20人	顔を合わせながら	いつものメンバー
12:00	昼食	大学(食堂)	100人	大学生	大学のカラーが出る
15:00	買い物	秋葉原	50人	アニメ好き	アニメソング等
17:00	待ち合わせ	カフェ	40人	20~30代の女性	複数のジャンル
19:00	サッカー観戦	サッカー場	200人	20~40代の男性	複数のジャンル
22:00	帰路	電車	50人	通勤客	全ジャンル一様

た、同じ1人の人であっても、1日のうちでは全く特徴の異なる様々な場に身をおいていることもわかる。音楽は個人の嗜好をよく表現するメディアであるため、人によって特徴付けられる「場の特徴」をうまく表現し、場を移動することにより、人々に意外性のある音楽の提供を可能にすると考えられる。

ある場においては、人気のある曲に要求が集中する場合がある。ここに示したシナリオの例では、ノードの特徴が均一である通学時のバスや、昼食時などである。このような場合には、携帯端末では同時接続数に限界があるため、提案システムにおけるキャッシュが有効に働くと考えられる。キャッシュの配布方式については、通学時のバスと大学の食堂ではコンテンツの特徴が大きく異なると考えられるため、一律な方式を適用することはできない。本稿では、キャッシュを適応的に配布し、タイムアウト時間を指定することにより自動消去する方式を取っているため、このような状況にも対応可能である。

本シナリオは大学生の1日を例にとっているが、社会人であっても、出張の移動時に新幹線に乗る、空港のロビーで飛行機を待つなど、様々な場に滞在する機会がある。これらも、コンテンツの局所性の存在する場で、意外性を持つ音楽配信システムの利用例の一つとなり得るだろう。

## 5 まとめ

本稿では、コンテンツの局所性に着目したP2P型音楽配信システムの提案を行った。また、提案システムの利用シナリオを提示し、その利用形態について考察した。

提案システムを実現するためには、いくつか検討が必要な項目が残っている。まず、ファイルリストの取得方法について、範囲を限定して効率良くリストを取得する手法を検討する必要がある。また、今回、局所性の表現として音楽ジャンルを利用したが、場の特徴をよりの確に表現するためには、キャッシュが多く存在しているファイル、その場で多く聞かれているファイルなどの情報が有効であると考えられる。局所性の表現は、意外性のあるサービスの提供

を実現するだけでなく、キャッシュの有効利用にもつながると考えられるので、今後、様々な表現手法について検討を進めていく予定である。さらに、システムの実装を行い、手法の有効性を検証していく予定である。

## 参考文献

- [1] Y. Nakanishi, K. Takahashi, T. Tsuji, and K. Hakozaki. iCAMS: A mobile communication tool using location and schedule information. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 3, No. 1, pp. 82–88, 2004.
- [2] D. J. Corbett and D. Cutting. AD LOC: Collaborative Location-based Annotation. *IPSJ Journal*, Vol. 48, No. 6, pp. 2052–2064, 2007.
- [3] 加藤由花, 川口賢二, 箱崎勝也. オンラインショッピングを対象とした正確性と意外性のバランスを考慮したリコメンダシステム. 情報処理学会論文誌(データベース), Vol. 46, No. SIG13, pp. 53–64, 2005.
- [4] iTunes. <http://www.apple.com/jp/itunes/>.
- [5] DAAP. <http://daap.sourceforge.net/>.
- [6] Y. H. Chu, S. G. Rao, and H. Zhang. A case for end system multicast. *ACM SIGMETRICS*, 2002.
- [7] J. Liebeherr, M. Nahas, and W. Si. Application-layer multicasting with delaunay triangulation overlay. *IEEE SAC*, Vol. 20, No. 8, pp. 1472–1488, 2002.
- [8] R. Rejjaie and S. Stafford. A framework for architecting peer-to-peer receiver-driven overlays. *ACM NOSSDAV'04*, pp. 42–47, 2004.
- [9] 横川芳隆, 橋本浩二, 柴田義孝. サービス連続性を保証するP2Pビデオ配信システム. 情報処理学会研究報告DPS-131, pp. 73–78, 2007.
- [10] 林秀樹, 原隆浩, 西尾章治郎. アドホックネットワークにおけるトポロジ変化に適應した複製の再配置. 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 1, pp. 2–14, 2006.