

P2P ネットワークを用いた移動端末からの位置情報付き映像配信システム

上田 達也^{†1} 安倍 広多^{†1} 石橋 勇人^{†1}
松浦 敏雄^{†1} 藤井 裕史^{†2} 坂下 秀^{†2}

近年、携帯端末の小型化・高性能化ならびに携帯電話回線の高速化・低価格化が進んでいる。また、GPS (Global Positioning System) やビデオカメラを搭載した携帯端末も普及しつつある。これによって、移動端末から位置情報を伴ったストリーミング映像の発信が可能になってきた。

本稿では、携帯端末で撮影した映像を位置情報を伴う形でストリーミング配信し、また、その映像を検索、視聴できるシステムを提案する。このシステムでは、映像が撮影された時刻や位置、撮影端末の密度などに基づいて検索を行うことができる。映像は配信されている時点でリアルタイムに視聴することも、蓄積された過去の映像を視聴することも可能である。さらに、将来のある時点においてたまたま映像が撮影された場合にそれを視聴するための視聴予約も可能である。

本システムはスケーラビリティを考慮して P2P 方式で実現する。本稿では、このために必要となる映像の配信方式や位置情報管理方式、耐故障性の確保などについて検討を加える。

A system for geoinformation-attached video streaming over P2P network using mobile devices

TATSUYA UEDA,^{†1} KOTA ABE,^{†1} HAYATO ISHIBASHI,^{†1}
TOSHIO MATSUURA,^{†1} HIROSHI FUJII^{†2} and SHIU SAKASHITA^{†2}

Mobile devices are getting smaller and more powerful. Many of them are equipped with GPS (Global Positioning System) devices and video cameras these days. At the same time, cellular connections are getting wider bandwidth and their cost getting lower. As a result, it becomes easy to stream video clips with geo-information from anywhere on the way.

This paper proposes a video streaming system that distribute video clips sent from mobile devices with geo-information. Users can search for live streaming video clips, stored video clips, and future video clips not yet taken at the search time. In the last case, at the time someone happens to shoot a video clip, it will be distributed to expected audience immediately. Search condition includes shot location, time, camera density, and others.

We introduce a P2P architecture to design the system for scalability. This paper discusses various aspects of the system, especially video encoding, geo-information management, and fault tolerance against P2P node failure.

1. はじめに

近年、携帯端末の小型化・高性能化、および、携帯電話回線の高速化・低価格化が進んでいる。さらに、GPS (Global Positioning System) やビデオカメラを搭載した携帯端末も普及しつつある。これによって移動端末から位置情報を伴ったストリーミング映像の発信が可能になってきた。

著者らは、多数の人々が移動端末を持って自分が興

味ある場所や場面の映像を位置情報付きで自由にストリーミング配信し、またそれを視聴できるシステムの構築を目指している。提案システムでは、位置情報に基づいて映像を検索できる。映像はリアルタイムで閲覧することも、過去の蓄積された映像を閲覧することも可能である。さらに、指定したエリアで将来誰かが映像を撮影したらその映像を視聴するといった視聴予約や、さらに指定したエリアをたまたま通りかかった誰かに何か (視聴者の見たいもの) の撮影を依頼するということも可能である。これらの機能により、利用者は自分の興味ある場所 (被災地や事故現場、行きたい観光地など) の様子を自由に眺めることができる。

著者らの知る限り、既存のメディア (テレビ放送、YouTube のような動画配信サイトなど) でこのよう

^{†1} 大阪市立大学大学院創造都市研究科

Graduate School for Creative Cities, Osaka City University

^{†2} (株) アクタスソフトウェア

Acutus Software, Inc.

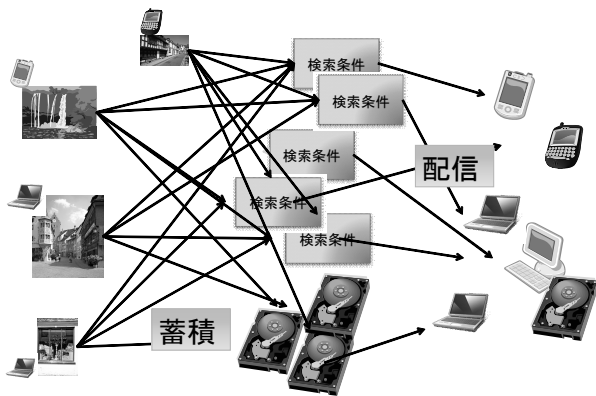


図 1 提案システムの概要

な機能を有するものは存在しない。

本システムは多数の参加者（撮影者および視聴者）を想定している。注目の高い映像は多数の視聴者が同時に閲覧する可能性があるため、サーバクライアント方式で配信するとサーバが過負荷となる可能性が高い。このため、提案システムは Peer-to-Peer(P2P) 方式で実現する。

本稿では提案システムの概要と実現上の課題、検討中の解決策について述べる。

2. システムの概要

本システムでは、多くの参加者がビデオカメラおよび GPS を備えた携帯端末を持ち歩き、様々な場所で撮影した映像をストリーミング配信する状況を想定している。視聴者はネットワークを介してこれらの映像を受信し視聴する（図 1）。ストリーミング配信を含め、全ての機能は P2P ネットワーク上で実現する。過去の映像を視聴できるようにするため、撮影した映像は P2P システムを構成する複数のピアに分散して蓄積する。位置情報は携帯端末の GPS から取得しメタデータとして映像に付与する。映像や携帯端末の位置情報の蓄積・検索も P2P システムで行う。

本システムでは、視聴者が指定した位置と時刻の範囲をもとに映像を検索できる。これは、現在撮影中のライブ映像と蓄積映像が対象である。また、これに加えて将来撮影される（かもしれない）映像を予約する機能（視聴予約機能）を備える。

視聴予約機能とは、視聴者が予め検索条件を指定しておく、将来その条件に合致する映像を誰かが撮影したら通知され、その映像が配信されるという機能である。さらに、映像の配信を待つだけでなく、視聴者側から撮影者に撮影して欲しい対象を積極的に伝える機能も実現する。これは、検索条件で指定した時刻・場所の近くにいる参加者（撮影者）に、撮影を依頼するメッセージを自動的に届ける機能である。この機能を使うと、例えば、災害などで自宅を離れている人が

家の様子を知りたいときに、家の場所を指定して視聴予約すると通りがかった人が撮影して状況を知らせてくれる、といったことが可能になる。

検索条件として、位置の範囲を指定するだけではなく、「映像配信中の端末密度（カメラ密度）が高い地域」を指定することもできる。これは、なんらかの重大事件が発生したり、大きなイベントがあるような場所では、多くの参加者が映像を配信している可能性が高いと予想されるためである。条件としては、例えば「100m²あたり5台以上の配信中端末が存在する地域」のように指定することを考えている。

本システムは P2P システムとして実現するため、ピアの離脱に対する対策が必要である。この問題に対処するため、著者らが開発している P2P 基盤ソフトウェア musasabi が提供する**仮想ピア**を利用する（3.3 参照）。

3. システム実現上の課題

本システムを実現するためには、以下の課題を解決しなければならない。

3.1 移動端末を含む P2P ネットワーク上でのストリーミング映像配信

本研究では、P2P ネットワーク上でのストリーミング映像配信に関する以下の技術を開発する。

- 能力の低い携帯端末向けの映像符号化
- さまざまな能力を持つノード向けの映像変換
- 配信されている映像の蓄積方法

さまざまな能力をもつ携帯端末と、不安定な P2P ネットワークを前提とした映像配信を実現するために、伝送エラーに強い映像の符号化を検討する必要がある。映像を蓄積し後で視聴できるようにするため、不安定なノードを利用して、安定して映像を蓄積する方式を検討する。また能力に違いがあるノードで最適な映像が視聴できるようにするために、映像を変換する必要がある。その方式もあわせて検討する。

3.2 効率の良い位置情報管理機構

本システムでは、映像を位置や時刻の範囲で検索するために、位置情報および時刻情報を効率よく管理する機構が必要である。連続して移動する携帯端末の位置情報の効率の良い格納・検索方式や、様々な検索条件を分散して格納しつつ、条件が満たされたことを速やかに検出できる方式を開発しなければならない。

これらの方式検討に当たっては、ネットワーク接続が不安定であるなどの携帯端末の特性を考慮する。

3.3 高信頼性分散プロセス

本システムは P2P 方式で構築するが、P2P システムでは、ピアの離脱や故障に対する対策が必須である。このため、一般に P2P システムの実装はサーバを用いる方式よりも難しい。本システムでは、耐故障性の確保を容易にするため、システムを構成するプロセスを

複数のピア上で一貫性を保ちながら実行することで冗長系を構成し、ピアが離脱してもサービスが停止しない方式(仮想ピア方式)を実現することにした。この方式はPIAX¹⁾をベースとしたP2P基盤ソフトウェア musasabi で実現する。詳細は文献 2) を参照されたい。本システムでは仮想ピアを適宜用いて実現する予定である。

4. 方式の検討

3章で示した課題を解決し、システムを実装するための方式の検討を行った。

4.1 移動端末を含む P2P ネットワーク上でのストリーミング映像配信

4.1.1 映像の符号化

映像の符号化の方式には大きく次の2つがある。

- (1) フレーム内圧縮のみ
- (2) フレーム内圧縮に加えてフレーム間圧縮も行う
それぞれ、次のような得失がある。
 - 同等な映像品質で符号化する場合、フレーム内圧縮のみは、フレーム間圧縮も行うときと比べて、負荷が少ないので(1)方式が有利。
 - 同等な映像品質で符号化する場合、フレーム内圧縮のみは、フレーム間圧縮も行うときと比べて、圧縮率が低いので(2)方式が有利。
 - フレーム内圧縮のみの場合、フレーム間圧縮も行うときと比べて、データの欠損に強いので(1)方式が有利。フレーム間圧縮は、基準となるフレームとの差分を取ることを行うため、基準となるフレームが失われた場合、差分で表現されたフレームすべてが復号できなくなるためである。
 - 映像の解像度やフレームレートの変換については、フレーム内圧縮のみのほうが、フレーム間圧縮も行うときと比べて、容易であるので(1)方式が有利。フレーム間圧縮を行った場合、変換を行うには、基準フレームと差分フレームからなる複数のフレームを復号した後、ふたたび符号化する必要があるためである。

以上のことから、フレーム間圧縮を併用すれば圧縮率の点で有利であるが、それ以外の点ではフレーム内圧縮のみの方式が有利であることが分かる。

本研究のプロトタイプにおいては、実装の容易さや負荷の点から、まず JPEG などのフレーム内圧縮のみ(I-only)符号化方式で実装することを考えている。より狭い帯域での伝送が必要な場合には、より負荷が少ない、直前のフレームとの差分を伝送する方式(定期的に基準フレームは伝送する)の実装を考えている。

ネットワークで伝送した場合に発生するエラーに対しては、

- FEC(Forward Error Correction)
- 単純に複数のストリームを送る

などの方式が考えられる。FEC では少ないパケット損失には対応できるが、バーストでのパケット損失には複数のストリームを伝送する必要がある。本研究では、プロトタイプを作成し、評価を行って効率のよいエラー訂正の方式を検討する。

4.1.2 映像の蓄積、変換

映像を後で視聴できるようにするため、安定して映像を蓄積する必要がある。本システムでは、ピアの離脱に対応するため、3.3 で述べた仮想ピアを用いた蓄積サーバの実装を検討している。

さまざまな能力を持つノード向けに映像を提供する方式としては、実装が容易な、JPEG 規格に含まれる階層符号化を利用することを考えている。能力の低いノードは低い解像度だけ復号することで負荷を低減できる。また、仮想ピア上の蓄積サーバから映像を取り出すときに、ノードの能力に応じた解像度の映像を送り出すことも検討する。

4.2 P2P を用いた効率の良い位置情報管理

位置情報や時刻情報を格納するためにはマルチメディア・データのメタデータを表現するための規格である MPEG-7 の利用を検討している。

また、携帯端末から配信される映像の位置情報は刻々と変化する可能性がある。このような変化する位置情報と時刻情報の組を効率よく管理できる方式を 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 で検討する。さらにカメラ密度による検索方式について 4.2.4 で考察する。

4.2.1 空間充填曲線を用いる方式

空間に配置されたオブジェクトを検索するために、空間充填曲線によって空間を1次元化して管理する手法が知られている。この手法を P2P ネットワークに適用したものに、ZNet³⁾がある。ZNet では、Z-curve⁴⁾を用いて1次元化した位置情報を Skip Graph⁵⁾に登録することで、P2P 手法によって点や領域を管理、検索することができる。

他にも空間充填曲線を用いて位置情報を管理する方法は研究されている⁶⁾。しかし本システムで必要とされる時刻情報まで含めた管理を行う方式は見当たらない。

たとえば位置情報と時刻を合わせて3次元空間とし、空間充填曲線を適用する方法が考えられるが、実用性を十分に検討する必要がある。

4.2.2 R-Tree ベースの方式

空間内のオブジェクトを検索するのに適したデータ構造としては R-Tree (図 2) ベースの方式⁷⁾⁸⁾⁹⁾が知られている。R-Tree ベースの方式では、オブジェクトが属する最小の矩形領域を木構造に登録し、指定した矩形領域に含まれるオブジェクトを検索できる。

本システムでは、R-Tree ベースの方式を用いて位置情報と時刻情報をあわせて取り扱うために以下の方法を検討している。

- 位置情報と時刻を表す3次元空間に R-Tree を構

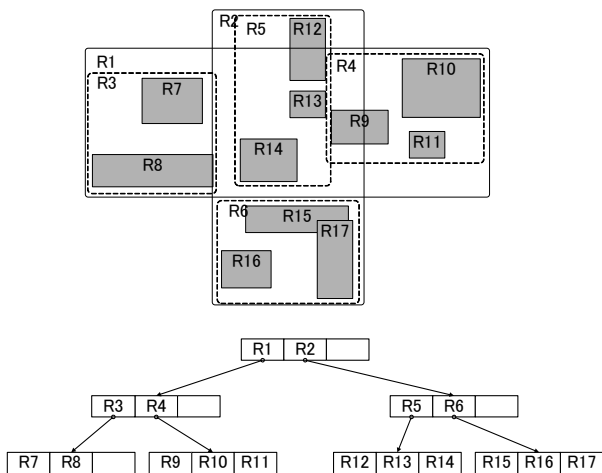


図 2 R-Tree

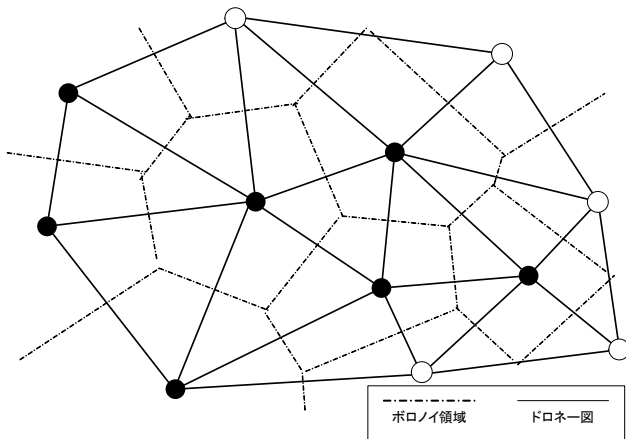


図 3 ドローンネットワーク

築する

- 位置情報を空間充填曲線で 1 次元化し、時刻情報と併せて 2 次元空間で R-Tree を構築する

R-Tree は P2P データ構造として考えられたものではないが、空間情報検索の手法としては優れており、効率や実装の容易さから本システムでは仮想ピア上に R-Tree を構築することを検討している。この場合当該仮想ピアが位置情報を扱うためのサーバとして動作する。

しかし単一の仮想ピアを用いる方式ではスケーラビリティの問題を解決することはできない。この点は、R-Tree の木構造を分割したり、P2P R-Tree¹⁰⁾ の手法を応用するなどの方法を検討している。

4.2.3 ドローンネットワークを用いた方式

ドローンネットワーク (図 3) は空間のドローン三角形分割 (ドローン図) に基づくネットワークであり、GIS 分野でよく使われている。

ドローンネットワークは P2P 手法でも構築でき

る¹¹⁾。また範囲検索が容易である¹²⁾ので、本システムにおける位置情報の管理方式としては適している。しかし通常のドローンネットワークでは時刻情報を取り扱うことは考慮されていないので、R-Tree ベースの方式 (4.2.2) で検討した方法と同様の工夫が必要である。

本システムへドローンネットワークを適用する場合、ドローンネットワークを構成するノードは映像の位置情報 (MPEG-7 データ) に対応する。ノードは P2P ネットワーク上のピアに配置されるので、ピアが故障・離脱するとデータが失われる恐れがある。このため、1 つのノードを複数のピアに配置する。

他に、ドローンネットワークを 3.3 の仮想ピアに実装する方法も検討している。この場合、ドローンネットワークを複数の仮想ピアで構成する方式 (スーパーピア方式) が考えられる。

4.2.4 カメラ密度による検索

本システムでは、2 章で述べたように、カメラ密度での検索を実装する予定である。

カメラ密度による検索を実現する方法としては、なんらかの領域ごとのカメラ台数をキーとして領域を表す座標などを Skip Graph に登録しておくことが考えられる。しかしカメラ密度が刻々と変化することを考えるとこの方式はあまり効率が良いとは言えない。

位置情報の管理方式としてドローンネットワークを採用した場合は、近隣ノードの座標がわかるので、あるノード周辺のノード密度 (=カメラ密度) は比較的容易に求められる。

カメラ密度の検索方式については今後、ここで検討した方式の問題点や利点を含めて、様々な方式をさらに検討していく。

5. 関連研究

P2P を用いた映像配信としてはウタゴエ社のシステム¹³⁾や KeyHoleTV¹⁴⁾などがあるが、本システムのようにライブ映像や蓄積映像を位置情報をベースに検索できたり、あるいは視聴予約機能を備えたものは見当たらない。

6. おわりに

本稿では、著者らが実現しようとしている、P2P ネットワークを用いた移動端末からの映像配信システムについて概要を述べた。また、システム実現上課題となる、移動端末を含む P2P ネットワーク上でのストリーミング映像配信手法と、P2P ネットワーク上での効率の良い位置情報管理手法についても検討を行った。

今後は、さらに検討を重ね、検討した方式に基づいて実際にシステムを開発する。また開発したシステムに多数の携帯端末、固定端末を参加させたときに、実用上問題ない性能が得られるかどうかを確認する。具

体的には、携帯端末からのストリーミング映像が実用的な品質で視聴できることの確認、1つの映像ソースを多数のノードで視聴しても問題ないことの確認、利用者の登録する条件の数に関するスケーラビリティの確認などである。

謝辞 本研究において、機知に富んだ示唆と多くの助言を頂いた(株)ビービーアールの吉田 幹氏、貫定 秀典氏に心より感謝いたします。

本研究の一部は独立行政法人情報通信機構「高度通信・放送研究開発委託研究」の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) 吉田 幹, 奥田 剛, 寺西裕一, 春本 要, 下條 真司: マルチオーバーレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX(モバイルコンピューティング), 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.402-413 (2008).
- 2) 安倍広多: P2P システム上での安定したサービス提供基盤 musasabi, 情報処理学会研究報告 2009-IOT-4 (2009).
- 3) Shu, Y., Ooi, B.C. and lee Tan, K.: Supporting Multi-dimensional Range Queries in Peer-to-Peer Systems, *In Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, 2005. P2P 2005*, pp.173-180 (2005).
- 4) Orenstein, J. A. and Merrett, T. H.: A class of data structures for associative searching, *PODS '84: Proceedings of the 3rd ACM SIGACT-SIGMOD symposium on Principles of database systems*, New York, NY, USA, ACM Press, pp.181-190 (1984).
- 5) Aspnes, J. and Shah, G.: Skip graphs, *ACM Transactions on Algorithms*, Vol.3, No.4, p.37 (2007).
- 6) Roos, T., Asano, T., Ranjan, D., Welzl, E. and Widmayer, P.: Space Filling Curves and Their Use in the Design of Geometric Data Structures, *In Proceedings of the 2nd Intern. Symp. of Latin American Theoretical Informatics LATIN'95, Valparaiso, Chile, LNCS 911 (Springer-Verlag)*, pp.36-48 (1995).
- 7) Guttman, A.: R-trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching, *Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp.47-57 (1984).
- 8) Sellis, T.K., Roussopoulos, N. and Faloutsos, C.: The R+-Tree: A Dynamic Index for Multi-Dimensional Objects, *VLDB'87, Proceedings of 13th International Conference on Very Large Data Bases, September 1-4, 1987, Brighton, England* (Stocker, P.M., Kent, W. and Hammersley, P., eds.), Morgan Kaufmann, pp.507-518 (1987).
- 9) Beckmann, N., Kriegel, H.-P., Schneider, R. and Seeger, B.: The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles, *In Proceedings of the ACM SIGMOD, Atlantic City, New Jersey, United States*, pp.322-331 (1990).
- 10) Mondal, A., Yilifu and Kitsuregawa, M.: P2PR-tree: An R-tree-based Spatial Index for Peer-to-Peer Environments, *In Proceedings of the P2P&DB Workshop held in conjunction with EDBT 2004*, pp.516-525 (2004).
- 11) 大西真晶, 源元佑太, 江口隆之, 加藤宏章, 西出 亮, 上島紳一: ノード位置を用いた P2P モデルのためのドロネー図の自律分散生成アルゴリズム, 情報処理学会論文誌 Vol.47 No.4, pp.51-64 (2006).
- 12) 大西真晶, 坪井新治, 平山雅夫, 江口隆之, 上島紳一: P2P ドロネーネットワークにおける遠隔接続経路の自律分散生成法アルゴリズム, 情報処理学会論文誌 Vol.48 No.11, pp.190-214 (2007).
- 13) ウタゴエ株式会社: ウタゴエ株式会社 Utagoe Inc) 技術&サービス. 入手先 <<http://www.utagoe.com/jp/technology/index.html>> (参照 2009-02-09).
- 14) コグニティブリサーチラボ株式会社: KeyHoleTV & KeyHoleVideo -キーホールテレビ&キーホールビデオ-. 入手先 <<http://www.keyholetv.jp/>> (参照 2009-02-09).

