

# 実世界観測による時空間映像データの高度利用 (3)

## —時空間映像データの低遅延な蓄積配信機構の設計と実装—

西川 卓\*<sup>1</sup> 松木 輝\*<sup>1</sup> 山崎 賢人\*<sup>1</sup> 木村 朝子\*<sup>1</sup> 柴田 史久\*<sup>1</sup>

**Abstract** --- センシングデータを収集・蓄積・活用するための枠組みである SIGMA フレームワークでは、センシングデータを時空間映像データとして低遅延かつ蓄積しながら配信する機構が必要である。本稿では画像ベースと動画ベースの 2 種類の配信機構を設計・実装し、画像ベースの配信機構では遅延書き込み、動画ベースでの配信機構では動画へのメタデータ埋め込みによって低遅延な蓄積配信を実現した。実装した 2 種類の配信機構と従来の手法を用いた配信機構の性能を比較する実験を行った結果、画像ベース・動画ベースともに従来手法より低遅延でデータを蓄積配信することができた。また動画ベースの配信機構が最も低遅延で蓄積配信できることを確認した。

**Keywords:** 時空間映像データ, センシングデータ, メタデータ, 低遅延配信, データ蓄積

### 1 はじめに

スマートフォンや車載カメラ、街頭に設置される定点カメラが広く普及したことによって、街中には多くのセンサ機器が遍在するようになった。今後も、センサ機器を搭載した自動運転車やドローンなどの活躍が予想されることから、カメラで撮影される画像データなどのセンシングデータは増加の一途をたどるであろう (図 1)。このような背景から、我々は街中に遍在するセンサ機器で取得されたセンシングデータを収集・蓄積し活用するためのアプリケーションフレームワーク SIGMA (Spatiotemporal Images with Generalized Management Architecture) を研究・開発してきた[1-3]。

SIGMA フレームワークが目指すのは、実世界を観測した時間的・空間的に遍在する画像やセンサデータを獲得・伝送・蓄積・変換・加工・表示するための仕組みを実現することである (図 2)。これまでに、時空間映像データの管理方法[2]や、蓄積した画像データを対象とした検索機構[3]などについて検

討してきたが、本稿では、SIGMA フレームワークにおけるデータの蓄積・配信機構について検討する。

SIGMA フレームワークによって収集・蓄積されたデータを活用する想定アプリケーションは、複数視点から撮影された画像データを使った物体の 3 次元再構成や、センサデータに基づく 3 次元地図作成、隠消現実感 (Diminished Reality; DR) を用いた自動車における死角領域の可視化[4-6]、時間軸上の複数点における実光景の融合表示を目指す時系列複合現実感 (タイムライン MR) [7]など多岐にわたり、それらにおけるデータの利用方法も様々である。

例えば、蓄積された画像データを使って物体の 3 次元再構成する場合、利用するデータの伝送に時間がかかっても最終的な結果に影響はない。一方、DR 処理を用いて自動車における死角領域を可視化するシステムを SIGMA フレームワークによって実現する場合、フレームワークによって配信されるデータと現実の光景の間に時間差が発生すると、混乱を生

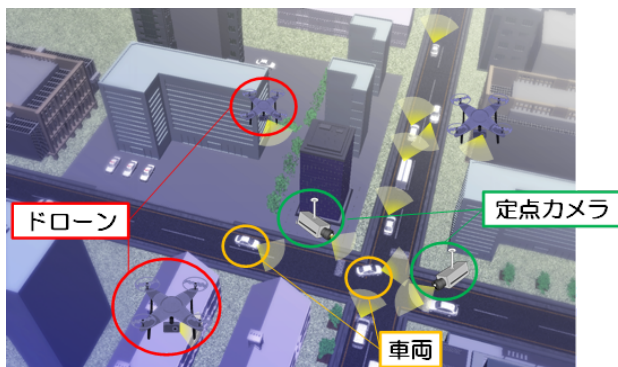


図 1 街中に遍在するセンサ機器の例

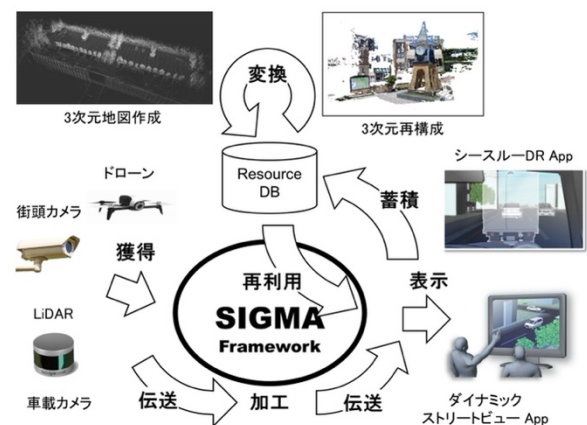


図 2 SIGMA フレームワークの概念図

\*1 立命館大学大学院 情報理工学研究科

じさせる可能性がある。すなわち、配信データのリアルタイム性が要求される。また、タイムラインMRの1つの実現形態である遠隔地の映像を対象としたタイムラインMR表示を想定した場合、現在と過去を融合表示するためには、観測地点の現在のデータとあらかじめ蓄積された過去のデータが必要になる。この双方のデータを利用するためには現在時刻のデータを低遅延で配信すると同時にSIGMAフレームワークに蓄積し、後の必要に応じてデータを参照できるようにしなければならない。

このような背景から、本稿では、SIGMAフレームワークにおいて、データの蓄積と低遅延での配信を並行に行う機構についての設計と実装を行い、実験で性能を比較した結果について述べる。

## 2 SIGMA フレームワーク

### 2.1 SIGMA フレームワークの概要

SIGMA フレームワークは、街中に遍在するセンサ機器で取得されたデータを収集・蓄積してアプリケーションで活用するためのフレームワークである。SIGMA フレームワークの第1次システム試作では、3つのサーバから構成される基本アーキテクチャを設計した(図3)。センサ機器が接続されたクライアントからのデータ収集・配信とリクエストのやり取りにWebサーバを利用している。データベースサーバにはデータを蓄積するためのリソースデータベース(Database; DB)が存在し、センサ機器から収集されたデータが蓄積される。アプリケーションサーバはクライアントのリクエストに応じてデータベースサーバからデータを検索したり蓄積されたデータを加工したりする。

### 2.2 時空間映像データ

SIGMA フレームワークでは、センサ機器で取得されたセンシングデータと、センシングデータ取得時の座標情報や時刻情報といったデータを合わせて時空間映像データと呼ぶ。特に座標情報や時刻情報、センサ機器のパラメータ情報などは、センシングデータのためのデータという意味でメタデータと呼ぶ。収集した時空間映像データを様々な形で利用する

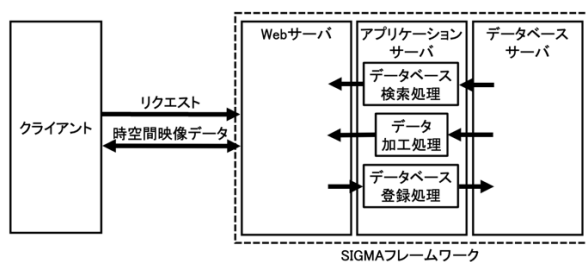


図3 第1次システム試作におけるサーバ構成

ためには、メタデータを参照することが必要不可欠である。例えば、1章で紹介した自動車における死角領域可視化では、死角となる領域を写す画像を含む時空間映像データを、座標をもとにして探し出すことでDR処理し、死角領域を可視化する。そのため、時空間映像データはセンシングデータとメタデータの双方が必要であり、両者をまとめてハンドリングすることが肝要となる。

以降では、時空間映像データを画像データとそのメタデータに限定して議論する。

### 2.3 データの蓄積

SIGMA フレームワークでは時空間映像データを蓄積することで後の必要に応じてデータを再配信することができ、さらに蓄積されたデータに対して加工処理することも可能になる。時空間映像データの蓄積時にはセンシングデータをデータベースサーバのストレージに保存し、データファイルを指し示すパスがリソースDBに登録される。同時に、位置情報や取得時間、センサ機器のパラメータといったメタデータもリソースDBに登録される。

### 2.4 第1次システム試作の課題

2.1節で述べた設計では、Webサーバはデータベースサーバに登録されたデータを参照してデータを配信するため、収集直後のデータを利用するためには、リソースDBへのデータの登録が完了するまで待たなければならない。そのため、例えば、監視カメラで収集した画像をすぐに利用するような場合に、タイムラグが発生するという問題を有している。

本研究では、この問題を解決するために、データの蓄積と低遅延での配信を並行に行う機構について検討する。

## 3 低遅延な蓄積配信機構の設計

### 3.1 関連研究

Amiranteらは低遅延で動画データを配信できるサーバであるJanus WebRTC Serverを開発した[8]。このサーバはクライアントから受信したデータを独自のMJR形式のデータとしてサーバ内に保存することができるが、このデータはクライアントから受信したRTPパケットを保存したものであるため、保存されたデータをそのまま画像形式のデータとして利用することはできない。

上田らはP2P (Peer to Peer) で位置情報を付加した動画データを配信・蓄積するためのシステムを提案した[9]。このシステムではMPEG-7を用いた位置情報の付加が検討されているが、MPEG-7では動画を構成するフレームと呼ばれる画像全てに位置情報を付加できるわけではない。そのため、このシス

テムで配信されたデータを画像データの列として蓄積することは難しい。

阿倍らは動画とメタデータの同期精度を任意に変更可能な同期配信方式を開発した[10]。この方式では動画のフレーム単位でメタデータを同期することができるが、同期するメタデータはマーカによるハイパーリンクとしておりセンサ機器の位置情報やデータの取得時刻といったデータではない。

これらの関連研究を踏まえ、本研究では SIGMA フレームワークにおいて、データの収集を司る Web サーバに並置する形で、低遅延での配信を担うストリーミングサーバを導入し、データの収集と配信を並行に実行できる機構を設計する。

### 3.2 新たな蓄積配信機構の設計

これまでの SIGMA フレームワークにおいて課題となっているのは、新しく収集されたデータがリソース DB に登録されるまでは、利用可能にならないという点である。データの登録には一定の時間がかかるため、これがリアルタイム性を損なう原因となる。そこですぐに利用されるデータを、その他のデータと区別して取り扱うストリーミングサーバを新たに導入する (図 4)。

ここでは配信データの形式によってどれほど配信遅延に影響が出るかを比較するため、2 種類の配信機構を設計し実装した。1 つは静止画像形式でデータを送受信する画像ベースの配信機構で、もう 1 つは動画像形式でデータを送受信する動画ベースの配信機構である。

画像ベースの配信機構では、カメラで撮影された原画像を画像コーデックでエンコードし、静止画像形式のデータとして送受信する。画像データとして送受信することで、SIGMA フレームワークヘデータをそのまま蓄積でき、クライアントでも受信データをそのまま画像データとして利用できる。また、画像に付随するメタデータの取り扱いも容易となる。その一方で、通信容量の面では、動画像形式と比較して不利になる。

動画ベースの配信機構では、カメラで撮影された原画像を動画コーデックでエンコードし、動画像形式

のデータとして送受信する。動画データとして送受信することで前述の画像データを配信する方式よりも配信データ量を削減することが可能である。しかし、動画データとメタデータを関連付ける方法については工夫が必要になる。具体的には、動画は複数のフレームと呼ばれる画像で構成されているため動画のフレーム全てにメタデータを関連付ける必要がある。

### 3.3 画像ベースの配信機構の設計

Web サーバを使った時空間映像データの従来の配信手法では一度サーバにデータが蓄積されてからデータを配信していたため、データ蓄積の際に発生する書き込み処理によって大きな配信遅延が発生していた。そこで、新たな画像ベースの配信機構ではデータの遅延書き込みを用いることで低遅延での配信を実現する。

遅延書き込みはデータ書き込みが必要な場面であえて書き込み処理を後回しにすることで、低速なストレージへのデータ書き込みと読み込み処理の回数を抑え、処理時間を削減する手法である。この手法を画像ベースの配信機構に取り入れることで配信遅延を大幅に低減させることが可能になる。

以下に画像ベースの配信機構における処理の流れを示す。

- (1) センサ機器を接続したクライアントから静止画像形式で時空間映像データ (静止画像およびメタデータ) を受信
- (2) 時空間映像データを利用するクライアントに受信したデータを中継配信
- (3) 受信した時空間映像データの画像データをストレージへ書き込み
- (4) 書き込んだ画像データへのパスとメタデータをリソース DB に登録

### 3.4 動画ベースの配信機構の設計

動画データとメタデータを別経路で配信する場合、一方のデータ受信のタイミングがずれたり通信経路上でデータが失われたりすることが起こりうる。そのため、動画ベースの配信機構では、動画データのフレームデータとメタデータを組み合わせて配信することで動画データとメタデータの関連付けを保ったまま配信することを考える。

以下に動画ベースの配信機構における処理の流れを示す。

- (1) センサ機器を接続したクライアントからメタデータが埋め込まれた動画像形式で時空間映像データを受信
- (2) 時空間映像データを利用するクライアントに受信したデータを中継配信

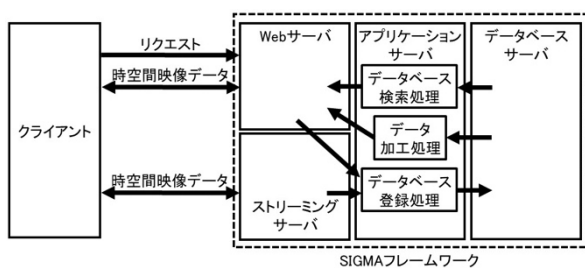


図 4 ストリーミングサーバを含めたサーバ構成

- (3) 受信した時空間映像データの動画データからメタデータを抽出
- (4) 動画データをデコードして画像データに変換
- (5) 変換した画像データをストレージへ書き込み
- (6) 書き込んだ画像データへのパスと抽出したメタデータをリソース DB に登録

## 4 実験

### 4.1 実験概要

3章で設計した2つの配信機構とWebサーバでの蓄積を待ってから配信する手法（従来手法）を使った配信機構の配信遅延を計測する実験を実施し、得られた結果を比較して考察する。実験で使用するコンピュータのスペックを表1に、配信する画像データの詳細を表2に示す。実験では、サーバと受信用クライアントPCは有線接続でネットワークに接続し、配信用クライアントPCでは無線接続を使用した。また、使用したネットワークの実験直前に計測した帯域幅は403Mbpsであった。

実験ではカメラが接続された配信用クライアントPC2台からストリーミングサーバを介して受信用クライアントPC1台に時空間映像データを配信する。配信する時空間映像データは各カメラが30fpsで撮影したものであり、配信時間は5秒とした。

なお、この実験での配信遅延はカメラで撮影された原画像が画像・動画データにエンコードされた時点からクライアントにネットワークを介して配信されるまでに要した時間とする。この配信遅延はエンコード後の画像・動画データにUnix時間をメタデータとして関連づけて配信し、受信側クライアントで受信時点での時刻と比較することで計測する。コンピュータ間の設定時刻のズレによる影響を最小限に抑えるため、事前にNTPを使って時刻同期した。

また、本実験では簡略化のためカメラで撮影された画像データがストレージに書き込まれた時点で蓄積が完了したとする。

表1 実験に用いた計算機の仕様

	サーバ	受信側	配信用 A	配信用 B
OS	Ubuntu 20.04	Ubuntu 20.04	Ubuntu 16.04	Ubuntu 20.04
CPU	Intel Core i7-7700K	Intel Core i5-8400	Intel Core i7-9750H	Intel Core i7-9750H
RAM	32GB	16GB	32GB	16GB

表2 配信データの詳細

	配信用 A	配信用 B
解像度	320×180	320×180
フレーム数/秒	30	30

### 4.2 計測結果

実験によって得られた配信遅延を図5および図6に示す。また配信遅延の平均を表3に示す。表3で示した配信遅延の平均値では配信側クライアントA, B共に動画ベースの配信機構が最も低くなり、画像ベースの配信機構と従来手法を用いた機構が続いた。動画データは画像データよりもデータ量が少なくなり、従来手法の配信機構では追加のストレージ書き込み・読み込み処理が発生することからこのような結果になったと考えられる。

図5, 6で示したグラフにおいても動画ベースの配信機構は他の配信機構と比べて全体的に安定して低遅延での配信を続け、画像ベースの配信機構では最初に比較的大きい遅延が発生しているものの全体的には従来手法の機構よりも低遅延で配信できていることがわかる。なお、画像ベースの配信機構における最初の比較的大きめの遅延はネットワークの混雑によって引き起こされた一時的なものではないかと推測される。

### 4.3 画像・動画ベースの配信機構の比較結果

4.2節で確認した通り動画ベースの配信機構の方が配信データ量は少なくなり、より低遅延で配信できると考えられるが動画コーデックは非可逆圧縮な

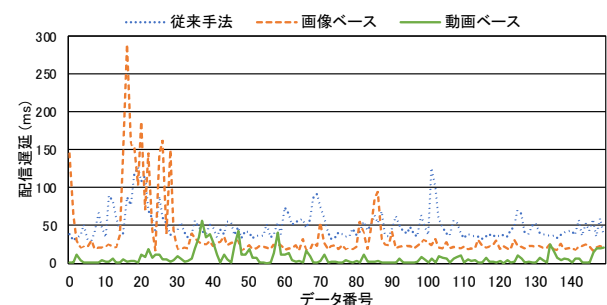


図5 配信側クライアントAによるデータの配信遅延

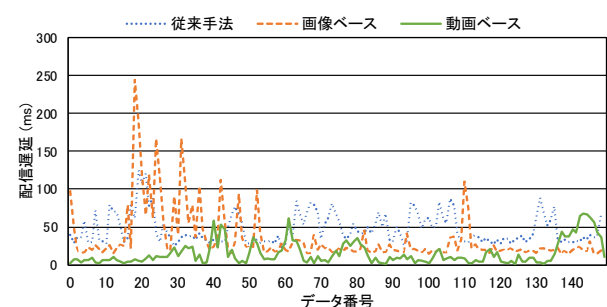


図6 配信側クライアントBによるデータの配信遅延

表3 配信遅延の平均値 (ms)

	配信用 PC (A)	配信用 PC (B)
従来手法	49.65	47.63
画像ベース	35.97	35.67
動画ベース	6.81	15.03

コーデックであることを考慮しなければならない。非可逆圧縮な動画コーデックでデータをエンコードすると可逆圧縮な画像コーデックでのエンコード時よりもデータ量をより多く削減できるが、非可逆圧縮であるため元データの情報の一部が失われる。一方で PNG 形式など可逆圧縮な画像コーデックでデータをエンコードすれば元データの情報を失うことなく配信できる。データを利用するアプリケーションの用途によって求められる情報量は異なるため、アプリケーションの用途に合わせて使用する配信機構を選択する必要がある。

## 5 むすび

本稿では SIGMA フレームワークにおいて時空間映像データを低遅延で蓄積配信する配信機構を設計・実装した結果について述べた。配信機構は画像形式のデータを送受信する画像ベースの配信機構と動画形式のデータを送受信する動画ベースの配信機構の 2 種類を設計・実装した。

実装した 2 種類の配信機構と従来手法を取り入れた配信機構について、配信遅延を比較する実験を実施した。その後実験で計測した配信遅延について考察し画像ベースの配信機構と動画ベースの配信機構を比較した。

今後は動画ベースの配信機構について機能の追加や改善を続け、より低遅延での蓄積配信の実現を目指す。配信機構の改善の一例として、更なる配信データ量の削減を目指して動画コーデックである VP9 コーデックを導入することが考えられる。VP9 コーデックは本稿の動画ベースの配信機構で用いた VP8 コーデックをベースとした高効率なコーデックである[11]。このコーデックを動画ベースの配信機構で利用すれば、より多くの配信データ量削減が期待できる。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費:基盤研究 (B) 課題番号 21H03487 による。

## 参考文献

- [1] 山崎, 有富, 関, 木村, 柴田: 実世界観測による時空間映像データの高度利用 (1) —基本アーキテクチャの概念設計と第 1 次システム試作—; 日本 VR 学会研究報告, Vol. 22, No. 2, pp. 49 - 53 (2019)
- [2] 山崎, 関, 松木, 木村, 柴田: SIGMA フレームワークにおける時空間映像データの管理手法; 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), Vol. 2020-DCC-26, No. 9, pp. 1 - 6 (2020)
- [3] 山崎, 関, 松木, 木村, 柴田: SIGMA Retriever: イメージベースドモデリング・レンダリングのための検索機構の設計と実装; 情報処理学会論文誌 デジタルコンテンツ, Vol. 10, No. 1, (in press) (2022)
- [4] 平松, 有富, 若林, 木村, 柴田: 安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法 (1) — 車車間通信モジュールの設計と実装 —; 第 25 回日本 VR 学会大会論文集, 3B1-3 (2020)
- [5] 若林, 竹村, 平松, 木村, 柴田: 安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法 (2) — 移動物体を含む死角領域の可視化 —; 同上, 3B1-4 (2020)
- [6] 平松, 若林, 佐々木, 木村, 柴田: 安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法(3) —5G 環境下における性能評価実験—; マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2021) シンポジウム, pp. 980 - 986 (2021)
- [7] 柴田, 入田, 萩尾, 村上, 木村, 田村: 時系列複合現実感 (Timeline MR) の概念形成と諸問題の考察; 日本 VR 学会複合現実感研究会, Vol. 24, No. 1, pp. 1 - 6 (2021)
- [8] A. Amirante, T. Castaldi, L. Miniero, and S. P. Romano: Janus: a general purpose WebRTC gateway; Principles, Systems and Applications of IP Telecommunications (IPTComm '14), pp. 1 - 8, (2014)
- [9] 上田, 安倍, 石橋, 松浦, 藤井, 坂下: 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; 情報処理学会研究報告 2009-IOT-4, pp.143-147, (2009)
- [10] 阿倍, 福田, 山田, 松本, 重野, 岡田: インターネット映像配信サービスのための映像と付加情報の同期配信方式; 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 2, pp. 525 - 535 (2005)
- [11] Debargha Mukherjee, Jim Bankoski, Adrian Grange, Jingning Han, John Koleszar, Paul Wilkins, Yaowu Xu, and Ronald Bultje: The latest open-source video codec VP9 - An overview and preliminary results; 2013 Picture Coding Symposium (PCS), pp. 390-393 (2013)