

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04963

研究課題名（和文）災害時の建築強化のための絶対時刻同期デジタルセンシング・マルチモーダル分析基盤

研究課題名（英文）Digital sensing multimodal analytical platform with absolute time synchronization for buildings in a disaster

研究代表者

倉田 成人（Kurata, Narito）

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号：00416869

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、老朽化する建築の災害リスクを、建物内に設置する異種デジタルセンサ群の絶対時刻同期を前提とするマルチモーダル分析により制御することで、建築を強化するための技術基盤を確立することである。具体的には、(1) 建物内に設置する異種デジタルセンサの絶対時刻同期システム、(2) 災害時の建築の時系列マルチモーダル分析、(3) 建築のリスク制御情報システムを研究・開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本格的なIoTの適用には、複数センサ間の時刻同期技術が必須である。従来技術として、GPS信号を利用する方法があるが、建造物の内部、特に地下空間などでは利用できない。専用配線を行うことは現実的な解決法であるが、コストがかかる。そこで、本研究では、高精度な時計であるチップスケール原子時計を、複数センサ間の超高精度な時刻同期を実現するために利用する研究開発を行った。特に、アナログセンサではなく、カメラを含む異種デジタルセンサ群を対象として、高精度な時刻同期を確保する自律型マルチセンサシステムは世界的にも事例が無く、我が国のIoTの普及、ひいてはSociety5.0の実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to provide a technical foundation for strengthening buildings by controlling the disaster risk of aging buildings by multimodal analysis that assumes absolute time synchronization of different types of digital sensors installed in the buildings. Research and development have been conducted on (1) absolute time synchronization systems for heterogeneous digital sensors installed in buildings, (2) time-series multimodal analysis of buildings in the event of a disaster, and (3) risk control information systems for buildings.

研究分野：建築情報学

キーワード：時刻同期 センシングシステム チップスケール原子時計 GNSS 地震センサ 振動センサ カメラ IoT

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

IoT (Internet of Things) の技術革新により、モノのネットワーク化が急速に進展し、実世界の状況が直接サイバー空間に再現され、サイバー空間での情報処理の結果により実世界の動きを制御するシステムが現実のものとなりつつある。膨大な数のセンサによる実世界のセンシングが行われ、データ流通量が爆発的に増大し、ビッグデータや人工知能の活用が加速している。しかしながら、これらの進展が社会全体に大きな影響をもたらす分野として、防災、医療・ヘルスケア、次世代モビリティ、流通、ロボット、スマートハウス・ビル、社会インフラ、農業など広範にわたるにも関わらず、社会実装された事例は少ない。老朽化する建築の災害リスクに対する強化は喫緊の社会課題であるが、単にセンサを建物内にばらまいて、ビッグデータを収集するだけでは課題の解決にはつながらない。研究開始当初は、この問題に対する抜本的な解決法が無く、本研究では、老朽化する建築の災害リスクを、建物内に設置する異種デジタルセンサの絶対時刻同期を前提とするマルチモーダル分析により制御することで、建築を強化するための技術基盤を確立した。従来、GPS 信号の妨害対策などの特殊な用途で使われていたチップスケール原子時計を、異種デジタルセンサ群の超高精度な時刻同期を実現するために利用した。これを各センサに内蔵し、GPS 信号が利用できず専用配線のコストが負担できない多くの建物内に設置する異種デジタルセンサ群のデータに対して、超高精度な絶対時刻情報(タイムスタンプ)をつけることで、各測定データの時間的な誤差問題を最小化した。さらに、これを利用した振動と画像のマルチモーダル分析により、建築の災害リスクを制御するための技術基盤を確立した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、老朽化する建築の災害リスクを、建物内に設置する異種デジタルセンサ群の絶対時刻同期を前提とするマルチモーダル分析により制御することで、建築を強化するための技術基盤を確立することである。

3. 研究の方法

本研究では、(1) 建物内に設置する異種デジタルセンサの絶対時刻同期システム、(2) 災害時の建築の時系列マルチモーダル分析、(3) 建築のリスク制御情報システムを研究・開発した。報告者はこれまで、建築物、社会インフラを対象として、センサネットワークによる構造ヘルスマニタリングの研究を行ってきた。そこでの学術的な課題として、センサに対する電源の確保とセンサ群の時刻同期の実現が残されていた。電源に関しては本研究では対象外とし、計測データに対するセンサ群の時刻同期の実現に関して焦点を当てて取り組んだ。特に、超高精度でセンサに適用可能なチップスケール原子時計 (CSAC, Chip Scale Atomic Clock) をデジタルセンサシステムに応用した。異種センシングとして、ノイズに影響されず高品質な計測データを得られるデジタル型加速度センサ、現実世界のイベントを直接記録する映像センサを中心に、自律的に正確な絶対時刻情報を記録しつつ、様々な異種センシングを可能とするプラットフォームを開発した。次に、開発したシステムを実建築構造物に設置し、建築の災害リスクを制御するためのデータを取得した。正確な時刻情報が付与された災害時の異種デジタルセンサデータを利用し、振動と画像のマルチモーダル分析により、建築の災害リスクを抽出した。さらに、そのリスクを制御するための情報システムを構築した。

4. 研究成果

一般的なセンサ装置は、CPU、センサ、メモリ、ネットワーク・インタフェース等から構成され、CPU には水晶発振器が使われている。こうしたセンサ装置に CSAC を搭載して、CPU の時刻情報を補正し、計測を行おうとすると、CSAC の計時精度が高すぎるために遅延が生じてしまう。そこで、CSAC による時刻情報を、直接、センサの計測データにハードウェア的に付与するため、専用の集積回路である Field-Programmable Gate Array (FPGA) を装備するメカニズムを考案した。これによりセンサ装置の CPU は過度の負荷を受けず、FPGA により時刻情報を付与された計測データをメモリに保存し、ネットワーク経由でデータを収集することが可能となる。また、FPGA はプログラマブルであるため、CSAC の時刻情報を扱うだけでなく、計測データを利用した異常検知等のロジックを組み込むことができる。本研究では、デジタル型加速度センサとカメラセンサの出力に、CSAC による正確なタイムスタンプを付与するメカニズムを開発した。

本研究で開発した異種デジタルセンサ型絶対時刻同期モジュールは、図 1、図 2 に示すように、CSAC ボード、FPGA (Field-Programmable Gate Array) ボード、センサボードで構成している。CSAC ボードには CSAC、GPS 等を装備し、正確な時刻情報を生成する。CSAC は数十ピコ秒級 (5×10^{-11} 秒) の超高精度時刻測定を実現する時計で、ボード上に実装できる超小型な外形である。CSAC ボードには、CSAC の 1 PPS (Pulse Per Second) 信号の入出力コネクタを装備している。これを利用して、モジュールから 1 PPS 信号を出力し、他のモジュールへ入力することで同期できる。FPGA ボードは、CSAC による超高精度な時刻情報を付与しながら各センサの計測を制御し、計測データをメモリに保存した上で、データを Ethernet、W-Fi、3G 経由でネットワークへ送信

する。計測データは常時計測するデータと、地震等のイベント時のみに計測するデータの2種類を保存する。前者は常にSDカードに保存を行い、一定量を過ぎると古いデータを削除し、新しいデータを上書きしていく。後者は、地震の始まりと終了を検知するロジックをFPGAに組み込んでおき、地震後すみやかに地震のイベントのみのデータをネットワークへ送信する。センサボードは、FPGAボードからの指令により、センサによる計測を行う。搭載したセンサは、デジタル型高精度加速度センサ、及び温度センサである。センサボードには、異種デジタルセンサ間の時刻同期性能の確認用に、任意のアナログセンサを外付けで接続できる外部アナログセンサインターフェースを装備した。これには、16 bitの分解能を持つA/D変換器を搭載しており、通過した信号を分岐して10倍に増幅したデータも計測し、広いダイナミックレンジを必要とするアナログ型センサを接続することも可能である。さらに、カメラセンサを接続可能なデジタルインターフェースを実装した。これらを、異種デジタルセンサ型絶対時刻同期モジュールとしてパッケージ化し、開発を行った。複数台のセンサモジュールを初期同期すると、その後は、自律的に高精度な時刻情報を保有し続けるため、任意の場所に設置し、計測データをストリーミングすることもできるし、SDカードに保存しておき、任意のタイミングで収集することもできる。計測データの各サンプリングにおいて正確なタイムスタンプを記録しているため、データ収集は、Ethernet、Wi-Fi、3Gなどの方法を選択できる。また、GPS信号やネットワークが利用できない場所でも、計測してデータを収集するだけで良いため、移動計測や、可搬型のセンシングシステムとしての利用にも適している。

カメラ、デジタル型高精度加速度センサを利用可能な異種デジタルセンサ型絶対時刻同期モジュールを開発した。チップスケール原子時計の計時精度を用いて、計測データにタイムスタンプを付与するメカニズムを実装した。開発したモジュールには、時刻同期性能の検証用に外部アナログ入力端子も用意し、振動台による性能確認試験を行い、デジタル型加速度センサと外付けアナログ型加速度センサによる計測結果と比較することで時刻同期性能を確認した。カメラによる映像データの絶対時刻同期では、開発した異種デジタルセンサ型絶対時刻同期モジュールにデジタルインプットのインタフェースを増設し、カメラを接続した。カメラによる出力に、内蔵デジタル型加速度センサの出力と同期してタイムスタンプを付与する機能を追加し、LED制御装置により、時刻同期性能を確認した。

開発した異種デジタルセンサ型絶対時刻同期モジュールを建築構造物(図3)に設置し、正確な時刻情報を保持した加速度及び映像データを取得した。また、モジュールを設置した環境において、地震時のデータを取得し、設置個所の加速度データにより振動を検知し、影響を評価するとともに、映像データにより、時系列に沿ってどのような事象が起こったのかを分析した。正確な時刻情報を保持する加速度と映像という異種デジタルセンシングを行い、取得したデータに対して時系列マルチモーダル分析を行い、被災状況等の災害リスクを表示する情報システムを構築した(図4)。

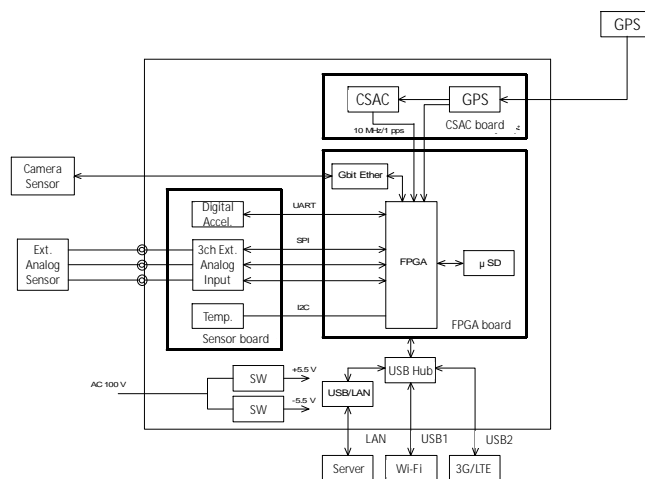


図1 システム構成



図2 開発したシステム



図3 システムを適用した建築構造物

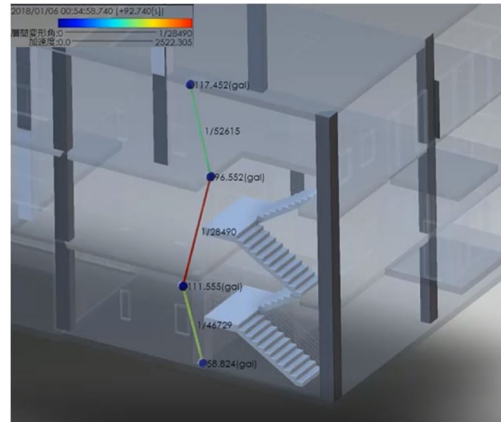


図4 災害リスク情報システム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Narito Kurata, Tsutomu Sano, Makoto Ishii, Satoru Ishida, Masaki Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Performance Evaluation of High-Accuracy Time Synchronization Sensor Device Using Indoor GNSS Time Information Delivery System for Structural Health Monitoring of Buildings and Civil Infrastructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the Eleventh International Conference on Sensor Device Technologies and Applications	6. 最初と最後の頁 90 - 96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 倉田成人	4. 巻 1
2. 論文標題 チップスケール原子時計を搭載した自律型時刻同期デジタルセンサモジュール	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第43回 情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 344-347
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Narito Kurata	4. 巻 1
2. 論文標題 Digital Sensing Platform with High Accuracy Time Synchronization Function for Management of Buildings and Cities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Tenth International Conference on Sensor Device Technologies and Applications	6. 最初と最後の頁 53-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 倉田成人
2. 発表標題 チップスケール原子時計（CSAC）を応用した自律型時刻同期機能を有するデジタルセンシングプラットフォーム
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------