

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00126

研究課題名(和文) UAVと省電力無線センサノードを用いたインフラモニタリングに関する研究

研究課題名(英文) Research on Infrastructure Monitoring System Using UAV and Wireless Sensor Node with Zero-standby Power

研究代表者

山脇 彰 (yamawaki, akira)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：10325574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：無線センサネットワーク(WSN)と無人航空機(UAV)の協調によって多数存在する老朽化インフラを効率的に維持管理するシステムの実現を目指して研究を進めた。省電力WSNの実現に向けて待機電力ゼロ型センサノードを用いている点が特徴の一つである。研究期間内に以下のような良好な成果を得られた。(1) UAV自動巡回手法の確立 (2) 均一なインタフェースを備えたセンサノードの実現 (3) 自動巡回の高速化。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各種インフラごとの検査方法の違いが均一なインタフェースを備えたセンサノードにより統合される。よって、対象ごとに特化した自動検査ロボットは不要であり、センサノードを巡回するだけの単一UAVによって多種多様なインフラのモニタリングが容易に実現できる。センサノードのバッテリー駆動時間も従来より非常に長いため長期間の経年劣化の観測が実現できる。本モニタリングシステムは統一的な構成で安価に実現可能になり、提案システムの普及を促進できる。その結果、日本発の新しいメンテナンスフリーなインフラモニタリング技術の世界への発信と、新たな電気電子技術産業の創出が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have researched about an efficient infra monitoring system using wireless sensor network, WSN, and UAV. This system uses zero standby power wireless sensor node we have proposed. Through the research period, we have obtained following good results.

(1) to establish a method of automatic sensor data gathering for UAV (2) to realize a sensor node with unified interface (3) to fasten automatic sensor data gathering.

研究分野：電子回路システム

キーワード：センサネットワーク インフラモニタリング 省電力 メンテナンスフリー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本社会では、人の高齢化が進み、将来の労働力不足が懸念されている。労働力が不足する一方で、建設から半世紀以上を経たトンネルや道路など、多数の老朽化インフラを維持管理する労働力が必要とされる。労働力の解消に向けて、ロボットによる更なる作業の自動化が試みられており[1]、インフラの維持管理には多数のセンサを無線でネットワーク構成した無線センサネットワーク (WSN) によるモニタリングが注目されている[2]。

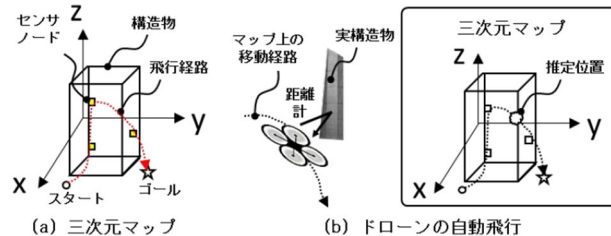
ロボットによる作業の自動化は工場のラインなどの統一的で機械的な動作が主である。対象ごとに手法が異なるインフラの維持管理には個別に特殊なロボットを開発する必要があり、普及には至っていない。WSN はバッテリー駆動されるセンサノードを既存インフラに設置するだけで良く、導入コストを低く抑えられる。その後のモニタリングも遠隔で自動的に行え、監視のコストも抑えられる。ただし、従来のセンサノードは待機時電力や無線送信によるバッテリーの消耗が大きく、長期間の経年劣化を観測する必要があるインフラ系のモニタリングでは問題となる。

[1] NEDO: "ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト(平成27年度～平成31年度)", [http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100107.html](http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100107.html)

[2] NEDO: "インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト(平成26年度～平成30年度)", [http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100081.html](http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100081.html)

### 2. 研究の目的

それらを解決すべく、待機電力ゼロ型センサノードを用いた省電力 WSN に、UAV によるセンサノードの自動巡回を組み合わせたインフラモニタリングシステムの開発を思い立った。省電力 WSN の実現には H26～H28 年の基盤研究(C)の補助により開発した待機電力ゼロ型センサノードを用いる。この待機電力ゼロ型センサノードを用いた省電力 WSN による経年劣化の長期間観測と、UAV による労働力不足の解消を同時に達成し、普及にも適した統一的なインフラモニタリングシステムを実現する。



### 3. 研究の方法

#### (1) UAV の自動巡回手法の確立 (図1)

構造物とセンサノード及び UAV(ドローン)の移動経路を3次元マップ上に表現する。ドローンはマップ上の移動経路に沿うように、各プロペラによって操舵しながら、スタート点からゴールに向かって飛行する。結果的に、実構造物に沿って飛行していると推定する。3次元マップとドローンの位置補正には一般的に GPS が使用されるが、トンネルや建物の影では使用できない。そこで、飛行途中は構造物との距離を各方向に備えられた距離計により測って上下左右の位置を補正し、経路補正や衝突回避を行う。マップ上の位置と実位置ができる限り一致するように、操舵や位置補正のパラメータは十分な予備実験を通してチューニングする。

さらに、バッテリー切れによるドローンの墜落を回避するために、バッテリー残量や時間超過による自動帰還機能や、できる範囲で最大限のモニタリングを実施するように、センサノードのスキップ機能も持たせる。

図1 自動巡回手法の概念

#### (2) 均一なインターフェースを備えたセンサノードの実現

無線通信プロトコルには、既存の無線モジュールが備えている標準規格(IEEE802.15.4 や Zigbee など)を採用する。そして、通信パケットに、当該センサノードとそれが搭載しているセンサやアクチュエータを識別できる情報を持たせる。検査方法に応じてドローンはセンサノードにアクチュエータやセンサの駆動を指示し、センシングデータを所定のサイズとフォーマットで自身のメモリに記憶する。

#### (3) 自動巡回の高速化 (図2)

ドローンは3次元マップ上のすべてのセンサノードを巡回する必要はない。例えば、図2のよ

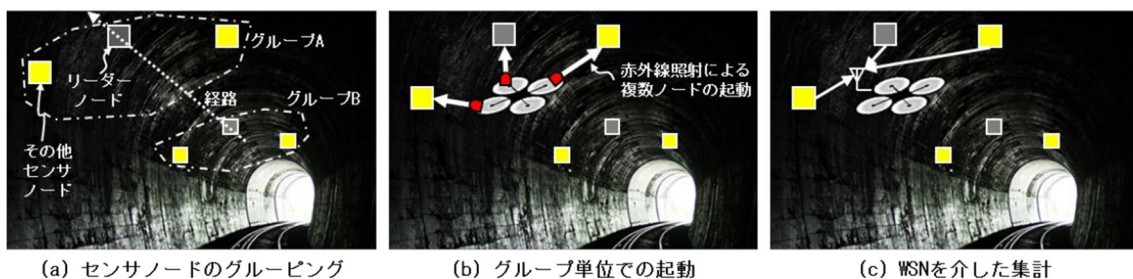


図2 センサノードの起動とデータ収集方法の概念

うに、いくつかのセンサノードを持つグループを構成する。グループ内の1ノードをリーダーノードと呼ぶ。3次元マップ上ではドローンがリーダーノードをたどる経路を設定する。なお、本例ではセンサノードが起動用センサに赤外線フォトダイオードを、その起動用にドローンがグループ内のノード数分の赤外線LEDを持つとする。図2(b)のように、ドローンは自動飛行中にリーダーノードのみをたどり、当該グループに属するセンサノード群を複数の赤外線LEDを照射して、同時に起動する。起動後、ドローンとセンサノード群は従来のWSN (IEEE802.15.4 や Zigbee など) を構成する。そして、ドローンがWSNを介してセンサノード群を制御しながら、センシングデータを集計する。これによって、自動巡回の手間と時間の大幅削減を図る。

#### 4. 研究成果

##### (1) UAVの自動巡回手法の確立

ドローンの飛行を指示するコマンドリストをベースにした自動飛行機構を試作した。試作システムでは、市販のドローン(Parrot社Bebop2)を使用した。そして、JavaScriptのインタプリタであるNode.jsと、Bebop2制御用パッケージであるnode-bebopを組み合わせた統合的なコマンドリストの実現を図った。基礎実験を通して、開発したコマンドリストに沿って、ドローンが正しく飛行できることを確認した。

##### (2) 均一なインタフェースを備えたセンサノードの実現

様々なセンサを統合的に扱えるインタフェースを開発するにあたって、温度計・湿度計、光量計など、多種多様なセンサに対するケーススタディを通して、所望の待機電力ゼロ型センサノードを実現可能であることが確認できた。さらに、インフラモニタリングで主要なセンサであるひずみゲージを用いたひずみ計に着目し、ひずみゲージを用いた待機電力ゼロ型センサノードを開発した。今まで、ひずみゲージを待機電力ゼロ型センサノードに用いた例はなく、初めても試みであった。そのため、ひずみゲージを使うにあたって考慮すべき温度ドリフトの影響に関して、待機電力ゼロ型センサノード上での検討を行った。その結果、待機電力ゼロ型センサノードの必然的な間欠動作によって、自己発熱によるドリフトはほとんど影響ないことを確認した。

##### (3) 自動巡回の高速化

開発済みのひずみゲージを用いた待機電力ゼロ型センサノードを、同時に、2個まで起動してセンシングデータを集計できるまで確認した。起動時に、ドローンは赤外線LEDからセンサノードに向けて赤外線パルスを照射する。センサノードは、フォトダイオードで赤外線パルスを受光し、発生した起電力によってセンサノードのグラウンドラインを切断するトランジスタをオンして、起動する。ある程度離れた距離でも、十分に強い赤外線パルスを発生できる赤外線LEDの選定と発光機構の開発を行った。また、受光フォトダイオードも、距離によって減衰する赤外線パルスによって、起動に必要な起電力が発生できる素子の選定と構成法の工夫を行った。

センサノードを複数台起動したとしても、センサデータの取得は逐次的になる。よって、一度の起動台数が増えると、起動したすべてのセンサノードからセンサデータが集計し終えるまで、各センサノードの動作時間が長くなる。結果的に、センサノードのバッテリーが減り、バッテリー交換を無くす理想的な状況に悪影響を与えうる。その検討に、2台同時起動時に得た、各ノードの動作時間をパラメータにセンサノードのバッテリー持続時間を見積もった。試作機では、1台あたり16msの動作時間を要し、一度の起動台数が1~16において、バッテリー持続時間は1日20回の起動回数では100年以上もつと見積もられた。

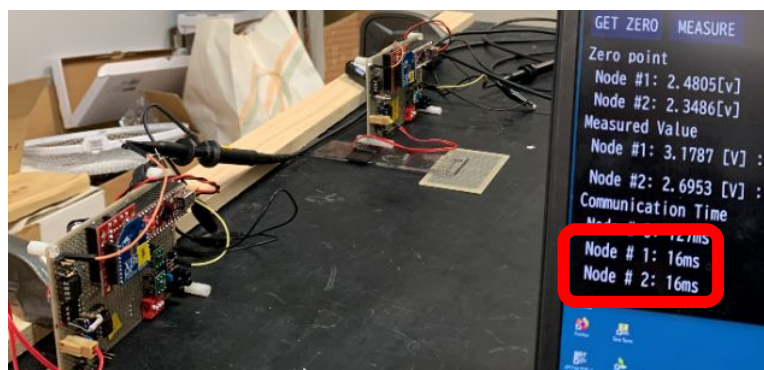


図3 2台同時起動の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Akira Yamawaki
2. 発表標題 Investigation of Feasibility for FPGA based Zero Standby-power Type Sensor Node
3. 学会等名 The 8th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Yamawaki, Makoto Miyauchi and Seiich Serikawa
2. 発表標題 Sensor Data Gathering Time from Multiple Zero Standby power-type Sensor Nodes Simultaneously Awaken
3. 学会等名 The 8th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Suzuki, Yuichi Morita, Akira Yamawaki
2. 発表標題 An Investigation to Realize Zero Standby Strain Sensor Node
3. 学会等名 The 33rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 雄太, 末松 哲也, 山脇 彰
2. 発表標題 待機電力ゼロ型ひずみセンサノードの実現に向けた一検討", 産業応用工学会全国大会2018
3. 学会等名 産業応用工学会全国大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 雄太, 末松 哲也, 山脇 彰
2. 発表標題 待機電力ゼロ型センサノードとドローンを用いた自動インフラモニタリングにおけるドローンのコマンドリスト制御部の試作
3. 学会等名 平成30年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Suzuki, Shogo Yoshikawa, and Akira Yamawaki
2. 発表標題 A Command List Based Automatic Controlling Method of UAV for Infrastructure Monitoring System with Zero-standby Sensor Node
3. 学会等名 6 th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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
連携研究者	芹川 聖一  (serikawa seiichi)  (60226686)	九州工業大学・大学院工学研究院・教授    (17104)	

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
---------	---------