

ドローンを用いた ITS 融合ネットワークについての提案

藤井知^{†1,2} 有本和民^{†3} 山内直樹^{†4} 木下研作^{†5} 吉川憲昭^{†5}

概要：本論文では、通信機能を有するドローン(無人航空機)、車両、スマートフォン、センタから構成されるシステムで、ドローン間、ドローン・車両間、ドローン・セルラ端末間、ドローン・センタ間の通信パスの設定を高品質・低遅延・低消費電力で行う方法を紹介する。

キーワード：ITS, ドローン

Proposal of ITS fusion network using drones

SATOSHI FUJII^{†1,2} KAZUTAMI ARIMOTO^{†3} NAOKI YAMAUCHI^{†4}
KENSAKU KINOSHITA^{†5} NORIAKI YOSHIKAWA^{†5}

Abstract: In this paper, we propose the system consisting of unmanned aerial vehicles (which are called drones) with a communication functions, vehicles, cellular terminals, and centers, setting the communication path between drones, drones/vehicles, drone/cellular terminals, and, drones/centers. We will show a method to achieve high quality, low delay and low power consumption in this conference.

Keywords: network architecture, IoT, unmanned aerial vehicle, drone,

1. はじめに

近年、ドローン(無人航空機)が注目を集めている。ドローンに撮影機能をもたせて上空で撮影した映像を地上に配信し、インフラ点検や災害時の被災状況の把握や、インターネットで注文した商品をドローンに搭載して宅配するシステムが提案されている。[1, 2]

今後、ドローンの活用が進み、同一のエリアを多数のドローンが同時に飛行する運用が想定される。さらに、ドローン間の通信やドローンと車載機やスマートフォンと通信などの柔軟な運用が期待される。

本研究報告ではドローン相互間、ドローンと車両、ドローンとスマートフォン間の通信パスを柔軟かつ効率的に設定するためのネットワーク構成、通信インタフェース、ドローンの機能ブロック構成等について述べる。

2. 通信システムの構成

2.1 通信ネットワーク構成

複数のドローン(ドローン#1, #2)、車両、スマートフォン、センタを含む通信ネットワーク構成を図1に示す。

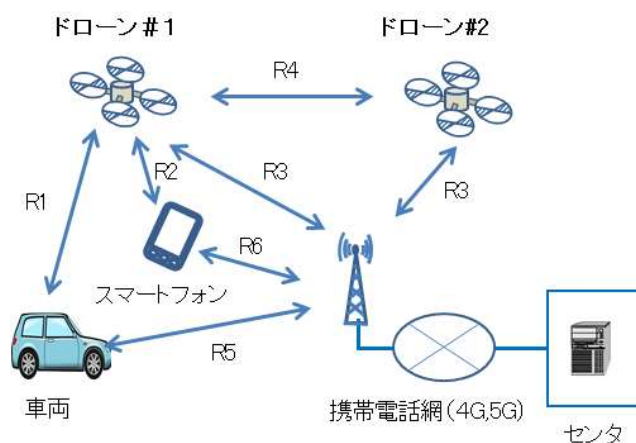


図1 通信ネットワーク構成

Figure 1 Network configuration

同図で、R1~R6は無線インタフェースで、例えば、ドローンと対向する無線インタフェース(R1~R4)は対向機器(車載機、スマートフォン、センタ装置)の能力、ドローンと通信する情報種別・情報量に応じてセンタで選択する。通信インタフェースR5, R6は例えばセルラ網インタ

^{†1} 沖縄工業高等専門学校
National Institute of Technology, Okinawa College
^{†2} 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology
^{†3} 岡山県立大学
Okayama Prefectural University
^{†4} (株)テクノアクセルネットワークス
Techno Accel Networks Ltd.
^{†5} (株)サイバー創研
Cyber Creative Institute

フェースである 3G/LTE/5G LPWA 等で伝送する。

センタが複数の群(空域)を管理する場合のネットワーク構成で、群別に異なる通信インタフェースを適用する場合を図 2 に示す。図 1, 図 2 ともドローンは事前に移動する空域に対応する群での飛行時間・通信モードを登録しておく、センタは登録された群内で利用できる通信モードを利用時間単位でドローンに割り当てる。

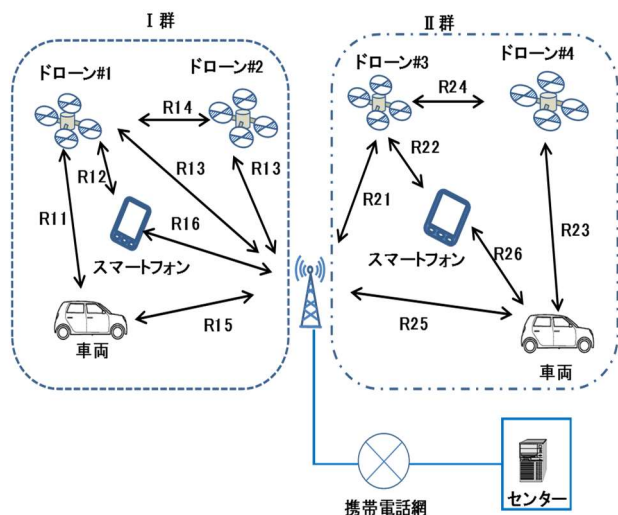


図 2 複数群の通信ネットワーク構成
 Figure 2 Multiple group network configuration

2.2 通信プロトコル

ドローンと対向する機器とのインタフェースの候補として、欧米での、安全安心を主目的とした車両用の通信手段に関する研究開発が進んでいる、無線 LAN をベースとした WAVE (Wireless access for vehicular environments) を用いて、データ(風景画像, 点検データ等)は WAVE の SCH(サービスチャンネル)で、機体制御情報は WAVE の CCH(コントロールチャンネル)で伝送する方式を提案する。図 3 に WAVE のプロトコルスタックとチャンネル使用例を示す。

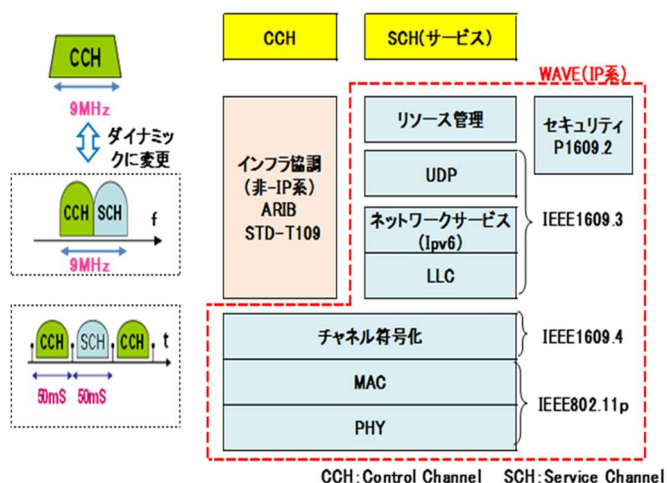


図 3 WAVE のプロトコルスタックとチャンネル利用方法
 Figure3 WAVE protocol stack and channel usage method

ドローンで配信する情報に応じて、CCH と SCH を周波数軸や時間軸でダイナミックに分割して利用する方法も考えられる。図 4 にサービスチャンネル (SCH) でカメラ映像を制御チャンネル (CCH) で規制情報を同時に受信した実験例を示す。

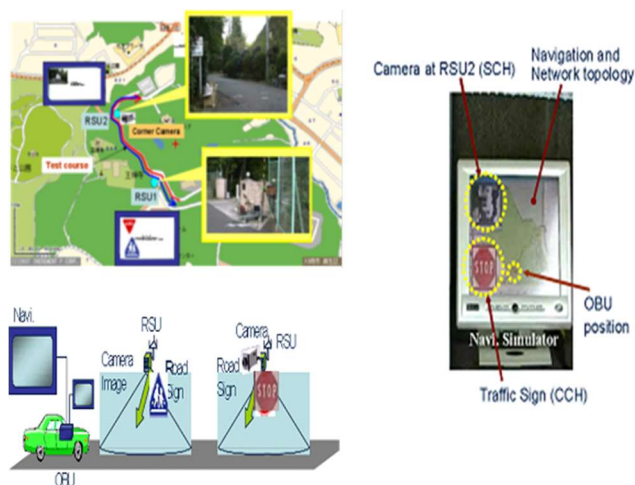


図 4 WAVE を用いた実験模様 [3]
 Figure 4 Experimental results using WAVE

2.3 周波数配置例

ドローンに割り当てる周波数の配置はドローンが飛行する空域に応じて 3 次元で設定することが必要となる。また、ドローン相互間で用いる周波数とドローン-地上無線機との間で用いる周波数配置も異ならせることが必要となる。また、ドローンに周波数を設定・切り替えを指示する制御エリアは、ドローンが空撮情報等のサービス情報を配信するエリアより広くすることが必要となる。

このため、ドローンが飛行する空間を高度 ($Z1, Z2, \dots$) で区分し、区分した各空間のエリアに対して周波数を割りあてる。例えば、ドローンの周波数を設定・切替るための制御チャンネル($F0$)は広域のエリアで複数の高度 ($Z1, Z2, \dots$) で共通に割り当て、サービスチャンネル ($F11, F12, F21, F22, \dots$) は狭域で高度 ($Z1, Z2, \dots$) 毎に割り当てる。またドローンの飛行速度に応じて通信エリアの大きさを設定することも考えられる。図 5 のドローンへの周波数割り当て例を示す。

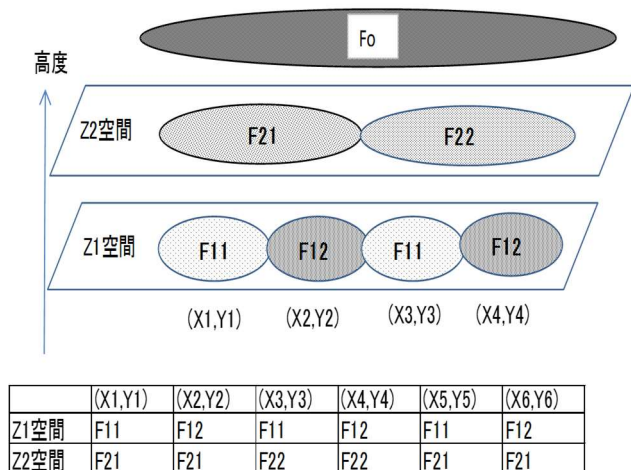


図5 ドローンへの周波数割り当て

Figure 5 Frequency allocation for drones

3. ドローンの電源系の構成

3.1 バッテリーの充電・交換

ドローンを安全に飛行させるには、ドローンの現在位置からバッテリー交換（充電）位置までに必要な消費電力を含めて監視することが必要となる[4]。具体的には、バッテリー残量、現在位置、単位距離飛行時のバッテリー消費量、バッテリー充電(交換)位置等の情報を基に、ドローンの飛行を継続可能か否かの判断を行う。バッテリーの充電（交換）位置を電源車とした場合の例を図6に示す。同図で、①～②は着陸制御、③はバッテリー交換(充電)制御、④～⑤は離陸制御を示す。これらの一連の制御はドローン制御部と車両に搭載された車両コントローラにより行う。



図6 ドローンのバッテリー交換(充電)車

Figure 6 Drone's battery replacement (charging) car

3.2 ドローンの低消費電力化

図7にエネルギー管理のブロック図を示す。

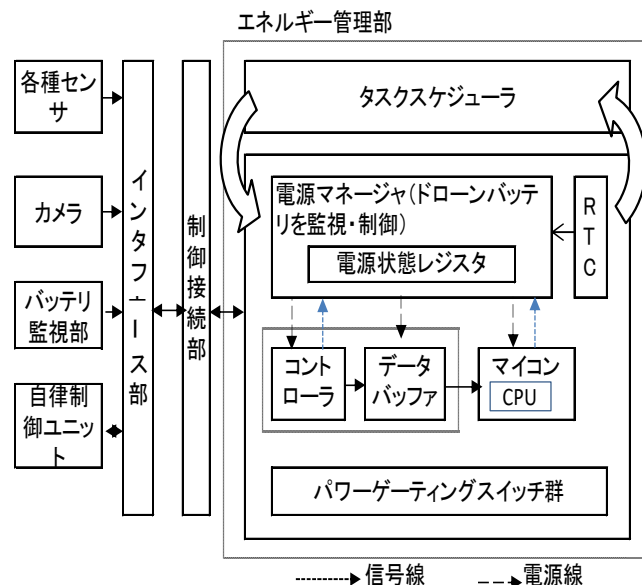


図7 ドローンのエネルギー管理のブロック図

Figure 7 Block diagram of drone energy management

同図の電源マネージャはバッテリーの電気容量、負荷電流の寿命依存性、バッテリーの回復効果等のエネルギー供給に関するパラメータと、ドローンの各実効タスクや飛行によるエネルギー消費に関するパラメータを管理する。電源マネージャは上記のパラメータと電池残量を基にドローン各部への最適なエネルギーの供給方法を決定する。

これを実現するためのハードウェアとして各構成要素へのエネルギーを供給/遮断するパワーゲーティングスイッチ群によりパワーゲーティングの粒度の最適化を行う。またソフトウェア機能としてタスクスケジューラにより、制御にかかわるタスク群のスケジューリングを行う。

コントローラで、各種センサ、カメラ、バッテリー監視部、自律制御ユニット、データ用無線送受信部、制御用信号送受信部などからの消費伝電流データをバッファリングすることにより、マイコンなどの動作頻度を削減する。また、アプリケーションに依存したCPUエネルギー供給は電源マネージャの下で行うことでCPUエネルギー消費最適化を図る。なお、タイマ等のエネルギーの常時供給が必要なRTC (Real Time Controller) は、電源マネージャの管理外とする。

図8にタスクスケジューラによる消費エネルギー削減方法を示す。同図(a)は従来の電力制御の例を同図Bは電力削減方式の例を示す。

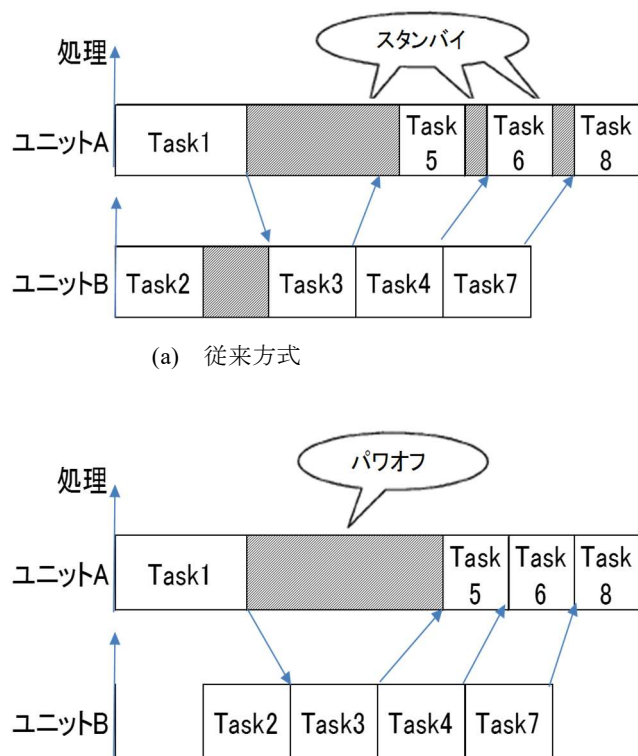


図 8 タスクスケジューリングによる消費エネルギー削減
Figure 8 Reduction of energy consumption by task scheduling

所定の機能を実現するハードウェアとして、ユニット A とユニット B とがあるとする。ユニット A、ユニット B は協働して複数のタスクを実行することにより、所定の機能を実現するものとする。ユニット A は、Task2, Task3, Task4, Task7 を実行し、ユニット B は、Task1, Task5, Task6, Task8 を実行する。また、あるタスクの終了位置から、他のタスクの開始位置への矢印は、タスク間の依存関係を示している。例えば、タスク 3 はタスク 1 が終了しなければ、実行できないことを示している。

従来のタスクスケジューリングでは、ユニット A、ユニット B のタスクが出来る限り早く終了することをそれぞれ最優先にして、スケジューリングしている。そのため、両ユニットは、タスクのない時間帯は、スタンバイ状態となっている。それに対して、同図(b)に示すスケジューリングでは、ユニット A では、Task5 と Task6 との間の空き時間、を前倒しすることにより、タスクを実行していない空き時間が一つとなり、その時間も長くなっているため、空き時間にパワーオフとすることが可能となり、消費電力の削減ができる。また、ユニット B においては、Task2 の開始を遅らせていることで、Task2 と Task3 との間の空き時間をなくしている。それにより、スタンバイ及びスタンバイからの復帰がなくなるので、これらを実行するときの消費電力を削減できる。

4. ドローン構成方法

4.1 全体ブロック構成

ドローンの機能ブロック構成を図 9 に示す。

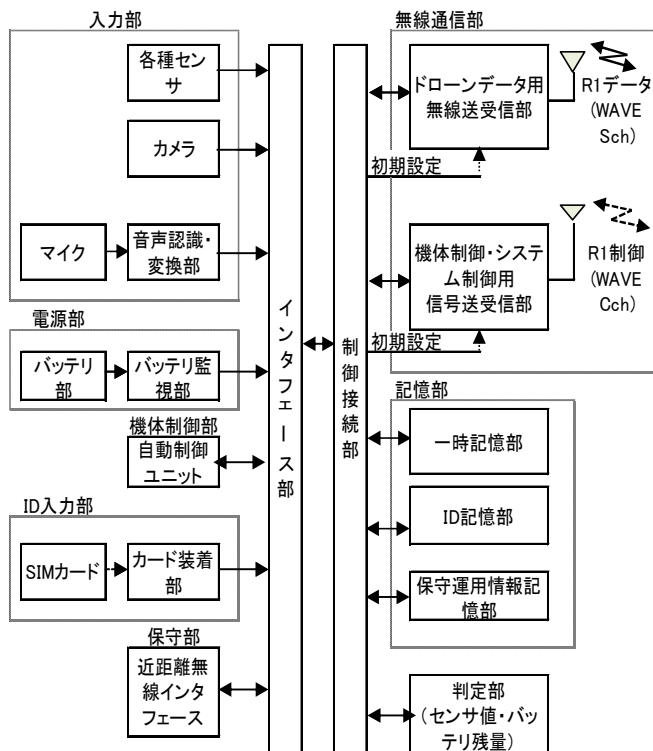


図 9 ドローンの機能ブロック構成

Figure 9 Drone's functional block configuration

4.2 入力部

入力部は、各種センサ、カメラ、マイク、音声認識・変換部を含み、各種センサは、温度センサ、風速計、湿度センサ、ジャイロ、加速度センサ、GPS、受信機等である。各種センサにより、上空の気象情報（温度、湿度、風速）、自機の位置を取得する。カメラにより、地上の風景を動画又は静止画として取得する。マイクで取得した音声コマンドの認識を行い、テキストコマンドに変換する。入力部が取得した各種データは、インタフェース部により規定のデータフォーマットに変換され、制御接続部へ出力する。

4.3 電源部

電源部は、バッテリー部、バッテリー監視部を含む。バッテリー監視部はバッテリー部 8 の残量を測定し、測定結果をインタフェース部を介して、制御接続部へ出力する。

4.4 機体制御部

自律制御ユニットは、ドローンの飛行状態を取得し、制御接続部にインタフェース部を介して出力する。飛行状態は、例えば、飛行速度、飛行加速度、飛行位置（緯度、経度）、

飛行高度である。飛行状態は、各種センサにより取得する。
 また、自律制御ユニットは、エンジン、モータなど駆動部を制御する。

4.5 ID 入力部

ID 入力部は、SIM(Subscriber Identity Module)カードには、予め割り当てられた識別番号により、ドローンを一意に特定する。SIM カードはカード装着部に装着される。制御接続部は、インタフェース部、カード装着部を介して、SIM カードに記憶された、識別番号を読み出す。

4.6 保守部

保守部は、近距離無線インタフェース部を介してドローンの初期設定データの入力、変更といった保守作業を行う。

4.7 無線通信部

データ用無線送受信部は、制御接続部からの指示にしたがい、無線インタフェース R1 を用い、各種センサの計測値、カメラで取得した画像をセンタ、車載機、スマートフォン等に配信する。また、制御用信号送受信部は、自律制御ユニットから取得した航行制御に関する情報、制御接続部から取得した制御情報を送信する。制御用信号送受信部が通信で使用する待ち受け方式は、初期設定データとして記憶する。

4.8 記憶部

一時記憶部は、各種センサ情報、バッテリー残量、飛行速度・飛行高度等も飛行情報を一時記憶する。ID 記憶部はカード装着部から出力された、通信に必要な通信用識別子を記憶する。保守運用情報記憶部は、保守運用作業に用いる PC、スマートフォンから入力された保守運用に関する情報を記憶する。保守運用に関する情報は、例えば、各種センサの閾値、待受通信モード、電源制御信号、飛行性能、音声コマンド、エネルギー供給やエネルギー消費に関するパラメータ、ドローンのエネルギー管理や飛行に関するパラメータである。

4.9 判定部

判定部は飛行禁止区域、現在位置、飛行性能、バッテリー残量から継続飛行が可能か否かの判定などを行う。

5. ドローンの初期設定

ドローンの初期設定フローを図 10 に示す。

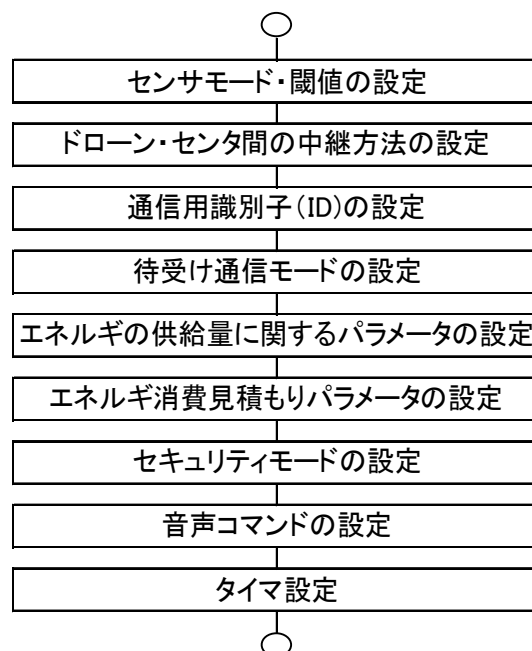


図 10 ドローンの初期設定のフロー

Figure 10 Default setting flow of Drone

5.1 センサモードの設定

センサモード・閾値の設定はセンサ毎に、取得頻度、制御局へ計測データを送信する頻度、測定値の閾値を設定する。位置情報の閾値については、事前に設定する空路に対応して $(x_{s1}, y_{s1}, z_{s1}) \sim (x_{s2}, y_{s2}, z_{s2})$ と設定する。

中継設定は、以下の経路より選択する。

- ① ドローンー車両ー携帯電話網ーセンタ
- ② ドローンースマートフォンー携帯電話網ーセンタ
- ③ ドローンー携帯電話網ーセンタ
- ④ ドローンー他のドローンー携帯電話網ーセンタ

例えば、伝送する情報がカメラからの画像のように、緊急性が低く、遅延要件が厳しくない情報である場合は、中継方法として、上記①を選択する。飛行禁止区域への接近情報などのように、緊急性が高く遅延要件が厳しいアラーム情報の場合は、上記①又は上記②を選択する。アラーム情報を受信した車両又はスマートフォンより、迅速に対処する。

5.2 識別子の設定

識別子はドローンが通信経路を設定するためのもので例えば、ドローン自身の機器 ID (例えば MAC アドレス)、センタの ID、車両の ID、スマートフォ ID を設定する。ID の設定は SIM カードをドローンに装着することで行う。待ち受け設定は、通信インタフェース R1, R2, R3, R4 それぞれの待ち受け時、発信時の通信方式、通信周波数、チャネル番号を設定する。なお、待ち受け通信モード周波数群 Fo に含まれるチャネルに設定する。

5.3 バッテリー交換(充電)の設定

バッテリー交換(充電)設定位置座標 (x_R , y_R , z_R) や、交換を判断するバッテリー残量の閾値、飛行性能設定を行う。飛行性能は単位距離飛行時のエネルギー消費量 ($\text{km}/\text{W}\cdot\text{h}$) や、各種センサを動作させることによるエネルギー消費量を設定する。セキュリティ設定を行う (ステップ S 2 0)。例えば、飛行禁止区域、例えば、飛行禁止高度や、禁止区域を示す地理座標列を設定する。

5.4 タイマーの設定

カメラ 1 0 2 による画像の取得、センタへのデータ送信のタイミング、センサ情報の取得、閾値判定、センタへ送信タイミングを決定するための設定を行う。ドローンの初期設定例を表 1 に示す。

表 1 ドローンの初期設定例

Table1 Initial setting example of drone

分類	項目	設定データ例
センサモードの閾値	飛行可能範囲位置	$(x_1, y_1, z_1) \sim (x_2, y_2, z_2)$
	温度	$-10 \sim 50^\circ\text{C}$
	風速	30m/sec以下
	機体の最高速度	30m/sec
	ペイロード重量	5kg
通信用識別子(ID)	白ドローン	IDa
	通信相手のドローン	IDb
待受け通信モード	R1データ	WAVE Sch(F_0 チャネル)
	R1機体制御	WAVE Cch($F1$ チャネル)
電源制御情報	バッテリー交換位置	(x_R, y_R, z_R)
	許容バッテリー残量	50WH
飛行性能	バッテリー消費量	20m/($\text{W}\cdot\text{hour}$)
セキュリティモードの設定	アラーム受信時の制御	飛行高度・場所が規定値の範囲と異なる
		バッテリー残量が規定値以下
スマートフォンコマンドによる制御	機体の音声コマンドによる制御	電池交換
		飛行開始、終了
タイマ情報	位置情報	100ms毎
	温度情報	1時間毎
	風速情報	10分毎

6. ドローンの動作フロー

6.1 センサ情報の処理

センサ情報の処理フローを図 11 に示す。既定時間毎に取得したセンサ情報が、閾値範囲内にあるか否かを判定し、閾値範囲内にないと判定した場合、アラーム情報を作成し、送信先と送信モード設定しアラーム情報を送信する。送信先は車両、スマートフォン、センタから選択する。

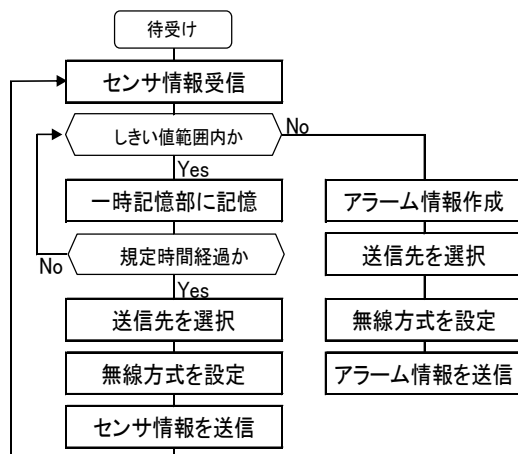


図 11 センサ情報処理フロー

Figure 11 Sensor Information Processing Flow

6.2 バッテリー管理情報の処理

バッテリー情報の処理フローを図 12 に示す。バッテリー監視部からバッテリー残量を取得し、一時記憶部に記憶後、ドローンの現在位置と現在位置に近いバッテリー交換(または充電)位置を読み出す。次に、単位距離飛行時のバッテリー消費量を読み出し、バッテリー残量、現在位置、バッテリー交換位置、バッテリー消費量を基に、バッテリー残量が規定の位置まで戻するのに充分であるか否かを判定し、残量が充分でないと判定した場合、バッテリー交換位置まで、誘導する。

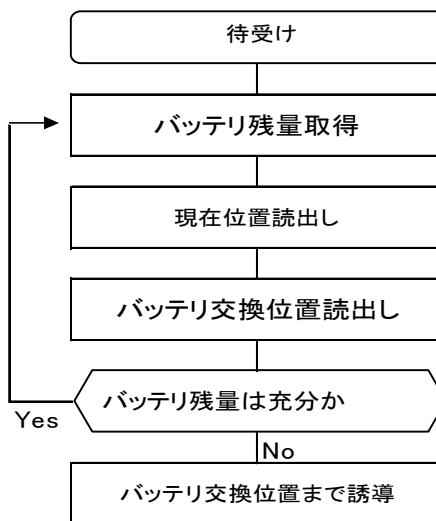


図 12 バッテリー管理情報処理

Figure 12 Sensor Information Processing Flow

6.3 映像情報の処理

映像情報の処理フローを図 13 に示す。カメラが撮影して得た画像情報を取得して、現在位置に適する送信先をセンタ、スマートフォン、車両等から選択する。このうち、送信する画像の情報量に応じた送信モードを設定して画像情報を送信する。



図 13 映像情報処理フロー

Figure 13 Image Information Processing Flow

7. おわりに

ドローンを用いた情報配信は今後ますます拡大すると想定される。本報告では、ドローンを3次元空間を飛行する通信機能を持った移動体とみなし、ドローンと地上の車両、センタ、スマートフォンと接続するための各種課題の解決策についての考察を行い、通信パスの設定を高品質・低遅延・低消費電力で行う方策についてのフィジビリティスタディを行った。

謝辞 本研究の一部は、独立行政法人国立高等専門学校機構平成28年度研究プロジェクト経費により行われたものです。

参考文献

- [1] S. Fujii, N. Yoshikawa, and K. Nonami, Highly Sophisticated Network System using Micro Air Vehicles and Wireless Networks for Enhanced Safety against Natural Disasters, ICIUS2011, pp.145-149, 2011
- [2] “自立制御システム研究所ドローンを用いた配送システムの実証実験”, <http://www.acsl.co.jp/news/>
- [3] Tsutomu Tsuboi, Jun Yamada, Naoki Yamauchi, Noriaki Yoshikawa: Dual Receiver Communication System for DSRC (FGCN 2008.12)
- [4] “第1回ドローン国際展のレポート”, <https://fairway.ne.jp/archives/fw-news/report-drone-expo-2015>

5