

○田中 久陽, 橋本 猛, 鎌倉 友男(電通大)

1.

本稿は、海中等におけるセンシング、モニタリングを目的とした自律分散無線ネットワークの構成方法について予備的な検討を報告し、関連する分野をまたいで共同研究を募るものである。

2.

現在、地上の GHz の無線帯域を利用するアドホック・センサネットワークと呼ばれる自律分散無線ネットワークの普及が進んでおり、標準化も行なわれている。

これに対し、海中・地中等の地上以外での自律分散無線ネットワークの研究開発は、その重要性に関わらず、今後期待される場所が多い。一般に、海中・地中等に用いられる無線センシング端末は、一度設置されるとある程度の期間使用に耐える事が前提となり、そのための頑健性と省電力性が必須となる。例えば、地中無線センサネットワークの場合、数キロヘルツの超低周波帯を利用し 10 年以上の寿命を実現することが一つの前提となっている。したがって、現在個々の端末は数十万円の価格であり、今後も安価になることはないと考えられる。

ところが、これまでの（地上での）アドホック・センサネットワークの研究は、むしろ逆の方向を指向するものが多かった。すなわち、無線センシング機器の小型化にともない、より安価となり、電源が消耗すると端末は使い捨てとなる。そのため、従来のアドホック・センサネットワークの設計理念として、安価な端末を多数散布して、その冗長性により通信の安定性、信頼性を向上しようとするポリシーが根底にある。一方、海中等での自律分散無線ネットワークを今後設計していくうえで、上記の理由から安価な端末の多数散布といった方向は期待できないと考えられる。したがって、これまでのアドホック・センサネットワークの前提条件とその蓄積を見直し、海中等の使用環境から来る要請をフィードバックすることが重要と考えられる。本稿は、

海中等での使用に耐えるアドホック・センサネットワークの構成方法としておもに2つの方向性を示し、関連する研究、ならびに応用の可能性について報告する。これにより、今後このような研究開発を推進する契機となることを期待している。

3.

海中等で用いられる無線センシング端末は、その寿命がバッテリーによって決定される。ある程度の規模の分散ネットワークを構築する際、端末間の制御パケット、データパケットのやりとりにより相当の電力が消費される。ところが、一般に海中等でのモニタリング、センシングの応用として、その頻度は特別な場合を除き、低頻度と考えられる。したがって、ネットワークの各端末は通信の際に必要な期間のみアクティブになり、それ以外の時間はスリープ状態として電力消費を避けることが必要となる。

このような状況は、従来のアドホック・センサネットワークの応用例としても存在し、これに対しおもに2つの異なる構成方法が知られている。この両者の本質的な差は、端末同士（ローカルな）時計合わせ、すなわちタイミング同期を行なうか否かという点にあるといえる。

その同期を行なう例として、S-MAC¹⁾ が有名である。この手法は、ネットワーク内の各端末は周期的にアクティブ状態とスリープ状態を繰り返し、互いにそのタイミングを同期させるものである。これにより端末は一斉にアクティブ状態となる。その間に相互の通信が行なわれ、それ以外の時間は一斉にスリープ状態となり電力が節約される。

一方、端末間の同期をなるべく行なわない手法^{2),3)}も可能である。2)は、基本的に端末間のタイミング同期は一切行なわず、非同期状態で互いのタイミング差は一定であり、これを各ノードが把握していることが基本的なアイデアで

*Design of Marine Ad-hoc Networks for Underwater Sensing

Hisa-Aki Tanaka, Takeshi Hashimoto, and Tomoo Kamakura (UEC)

ある。したがって、この方式では端末間のやり取りは単純である方面、パケット同士のコリジョンの発生が避けられない。これに対し、³⁾はデータパケットの送受信を行なう端末同士が一時的に同期を行ない、効率良くパケット同士のコリジョンを回避している。同期をなるべく行なわない手法には、これらの他の構成も検討の余地はあり、それらの系統的な比較検討が必要と考えられる。

4. 提案するネットワーク構成手法について

3章で説明した S-MAC を仮に海中等の環境に適用することを考える。S-MAC は端末間の同期を行なうものの、端末毎のデータパケット送信は互いに無関係に開始するのでパケットのコリジョンが生じ得る。このために S-MAC は CSMA という手法を用い、パケットのコリジョンを未然に回避する手順を踏んでいる。ところが、この CSMA ではパケットを送信する際に、端末は相当の時間アクティブ状態を維持し、場合によってはパケットを何度も再送するために、海中等での低頻度の通信を考えると電力を無駄にしすぎると考えられる。したがって、われわれは CSMA を排し、TDMA (時分割多重アクセス方式) を海中等での自律分散ネットワーク向けに洗練する方向を検討してきている。

本講演では、そのアルゴリズムの概要を説明し、そのメリットについて述べる。この手法によれば、Fig. 1 のツリー状のネットワークを想定した場合、各端末ノード (○) はお互いあらかじめスケジュールしたタイミングでデータパケットを隣接端末に送信し、その後スリープ状態となる。したがって各端末のセンシングデータは末端ノードから徐々に基地局 (●) まで転送されることになる。

この提案手法では、従来の TDMA 方式が同期と各端末のスケジューリングを別に(無関係に)行なうのと比べ、同期とスケジューリングのプロセスを融合した効率の良い構成であることが特徴である。また従来手法^{1,2,3)}が、故障したノードや通信リンクの一時点トラブルを検出する機能をもたないのと異なり、本手法ではこれらの検出を同期を行ないながら行なう点にメリットがある。

しかしながら、この手法には次のような制限がある。それは、(i)新規参入する端末は原則としてないものとし、初期に設置したノード配置

が保たれる必要があること、さらに (ii)ノードの移動は(ノードの通信範囲に比べ)無視でき、ほぼ固定されていることである。

このような制限は、従来の車々間通信等の応用では重要となるが、海中などでの長期の使用を考える際、問題を生じないものと考えられる。

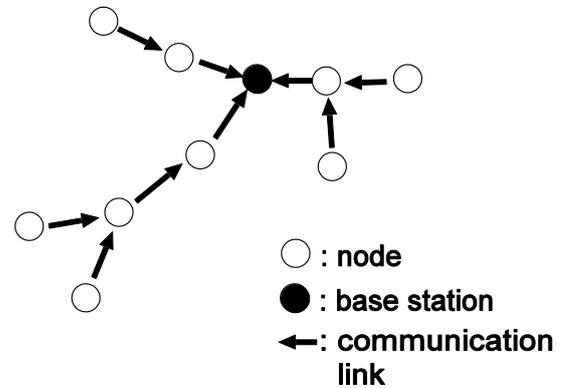


Fig. 1 Network topology

5.

海中等での自律分散無線ネットワークの構成方法を従来ならびに現在検討中の研究から概観した。明らかに、従来のアドホック・センサネットワークの成果のみでは、この問題を解決することは不可能であり、今後諸分野の研究者が連携して検討を進めることを期待する。今後の課題として、本提案手法ならびに³⁾の手法につき、シミュレーション、プロトタイプによる実験を行ない、本手法の洗練と有効性の検証を行なっていくことを予定している。

- 1) W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *INFOCOM 2002*, **3**, 1567-1576 (2002).
- 2) M. K. Park and V. Rodoplu, "UWAN-MAC: An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Acoustic Wireless Sensor Networks," *Oceanic Engineering*, **32** (3), 710-720 (2007).
- 3) 菊地 正隆, 田中 久陽, "省電力センサネットワークにおけるコリジョン回避型ブロードキャスト手法の提案," *信学技報*, AN2008, (2008).

本研究の一部は、文科省科研費研究補助金 (課題番号: 20560348) の補助を受けた。改めて感謝致します。