

[チュートリアル講演] センサネットワークの要素技術と具体例

～ 相関を利用した符号化・復号, 分散ノード間協力通信 ～

小林健太郎†

†名古屋大学エコトピア科学研究所
〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C3-1(631)
E-mail: †kobayasi@nuee.nagoya-u.ac.jp

あらまし センサネットワークでは, センサノードの処理能力, 電力容量, 通信資源などが限られる一方で, 収集されたデータには高い信頼性が求められる。また, ネットワークには長期運用のために省電力化が求められる。こうした要求を満たすために必要なキーワードが協調と融合である。本稿では, 無線分散ネットワークとしてのセンサネットワークについて, 協調と融合により信頼性の高い通信を実現する相関を利用した符号化・復号と分散ノード間協力通信を紹介する。

キーワード 無線センサネットワーク, 相関, 分散符号化, 統合復号, 協力通信

[Tutorial Lecture] Elemental Technology and Example of Sensor Networks

– Encoding and Decoding of Correlated Sources, Cooperative Transmission –

Kentaro KOBAYASHI†

† EcoTopia Science Institute, Nagoya University
C3-1(631) Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan
E-mail: †kobayasi@nuee.nagoya-u.ac.jp

Abstract In wireless distributed sensor networks, high reliability of collected data and long-term operation of the network are required while distributed sensor nodes have limited computational power, energy, communication resources and so on. Cooperation and fusion are one of the key techniques for these requirements. Some applications of cooperation and fusion such as distributed coding and joint decoding for correlated sources and distributed cooperative transmission which enable reliable data transfer are introduced in this report.

Key words Wireless sensor networks, correlated sources, distributed coding, joint decoding, cooperative transmission

1. まえがき

分散配置された多数のセンサノードが無線通信によりネットワークを形成することで, 一つのセンサでは不可能な面や空間のデータを取得できるようになる。収集したデータを融合して処理することで検出対象の詳細な振る舞いや周囲状況を把握し, ユーザーが求める情報を的確に示したり, 状況に応じたサービスを提供できるようになる。図1にセンサネットワークのイメージを示す。センサネットワークは, CO₂や排ガスなどの都市環境モニタリング, 農作物育成環境のモニタリング, 建物や橋梁のヘルスマニタリング, 屋内や地下街での正確な位置情報提供や誘導, 防災やホームセキュリティ, ヘルスケアといった広範囲で大規模なものから身近で小規模なものまで幅広い分野へ

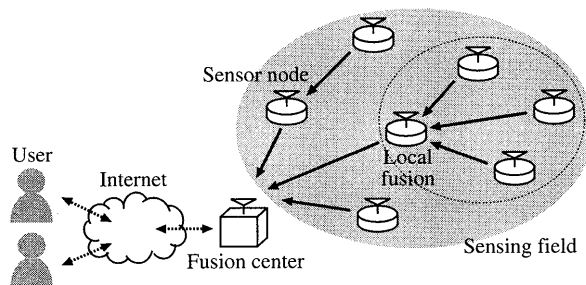


図1 センサネットワークのイメージ

の応用が期待されている。

一般に, センサノードの処理能力, 電力容量, 通信資源などは限られている。一方, 収集されたデータには高い信頼性が求

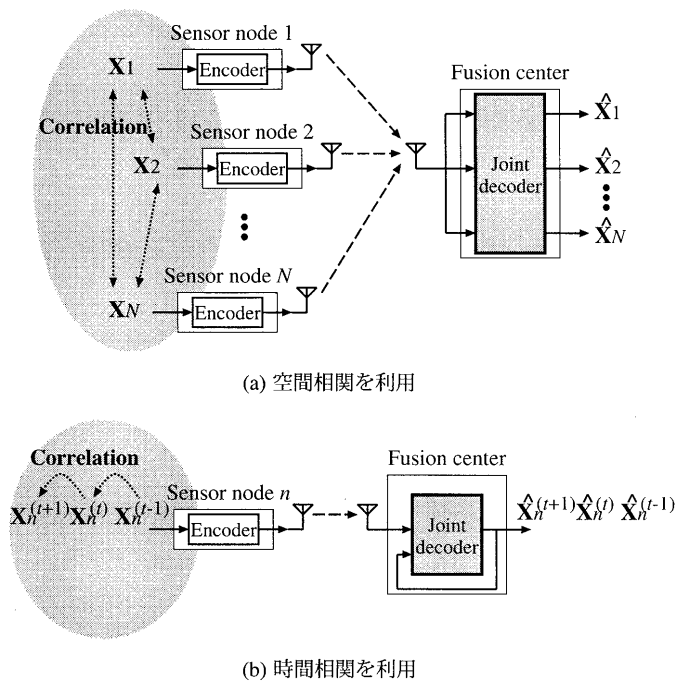


図2 相関を利用した分散符号化・統合復号

められ、ネットワークには長期運用のために省電力化が求められる。こうした要求を満たすために必要なキーワードが“協調”と“融合”である [1]。一つのみのセンサノードでは、不安定で不確実なデータ伝送しかできないため、誤りが多く発生する。ここで、センサノードがどのように強調すべきか、また、得られた複数の観測データをどのように融合すべきかが問題となる。例えば、各センサノードが観測したデータに高い相関がある場合、ノードが互いに協調してデータの符号化・復号を行うことで伝送誤りを低減でき、信頼性の高い通信が可能となる。

本稿では、無線分散ネットワーク [2] としてのセンサネットワークについて、協調と融合により信頼性の高い通信を実現する技術を紹介する。

2. 相関を利用した符号化・復号

環境モニタリングのように、あるフィールドに多数のセンサノードを配置し、これらのセンサノードから定期的に観測データが発信されるといった利用方法では、センサノードから送信されるデータには相関があることが予想される。センサフィールドに空間的に密に配置されたセンサノードのデータは、二つまたはそれ以上のセンサノードの間で互いに空間的な相関を有する。また、観測対象の時間的な変化よりも短い間隔でセンサノードが定期的に観測データを送信するような場合、センサノードのデータは前回送信したデータと時間的な相関を有する。これらのデータの相関は冗長な成分であると言え、分散符号化・統合復号技術を利用することで伝送誤りを低減することができる。

図2に相関を利用した分散符号化・統合復号のシステムモデルを示す。各センサノードは観測データを一つの packets にまとめ、符号化してフュージョンセンターまで伝送を行う。ここではマルチアクセス通信路を前提としている。フュージョンセ

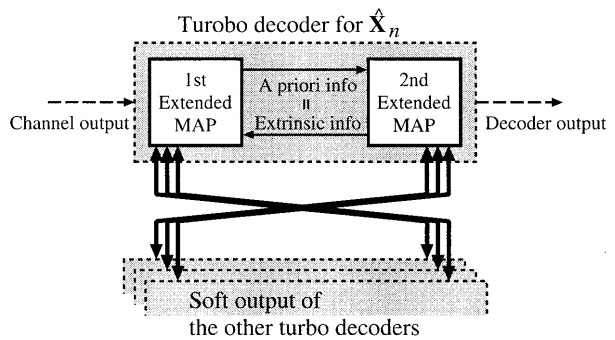


図3 繰り返し統合通信路復号器

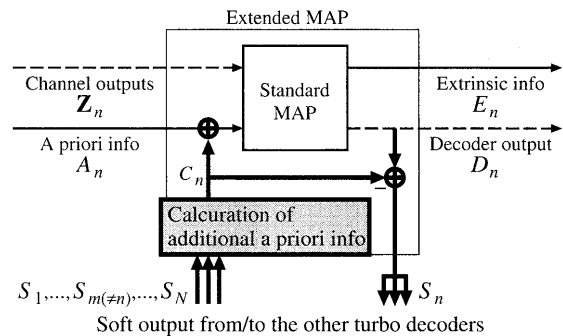


図4 相関成分を事前情報として利用する MAP 復号器

ンターでは、受信したパケットの相関情報を付加情報として利用して各データパケットの復号を行う。空間相関を利用する場合 (図2(a)), 各時刻のそれぞれのデータパケット間に存在する相関を利用する。時間相関を利用する場合 (図2(b)), 各センサノードの連続したデータパケット間に存在する相関を利用する。

空間相関を利用する統合通信路復号器では図3のように、 N 個の受信データパケットに対応した繰り返し復号器の間で軟値出力を互いに交換しながら繰り返し復号を行う [3]。また、各復号器は他の復号器から得られた軟値出力から情報の相関成分を事前情報として利用しており、通常の MAP 復号アルゴリズムを図4のように拡張している。相関を持った送信ノード数が増えることで、復号器の誤り訂正能力が向上し、誤り率を改善できる。

空間相関も時間相関も統合復号器では同様な付加情報として扱うことができる [4,5]。しかし、いくつか異なる点がある。空間相関は他のセンサノードからのデータパケット間で得られるが、時間相関はノード自身からのデータパケット間でしか得られない。空間相関は統合復号を繰り返すことで互いのデータパケットの尤度情報を更新しながら復号している。一方、時間相関は前回に復号された結果との相関をとっており、現在復号中のデータパケットのみ尤度情報を更新しながら復号している。時間相関は前回の復号結果を利用しており、前回の復号結果はさらに前回の復号結果を利用しており、再帰的に過去の情報を利用している。

空間相関と時間相関のどちらが伝送誤りの低減に貢献するかは、上述の復号方法の違いよりも、センサネットワークが用

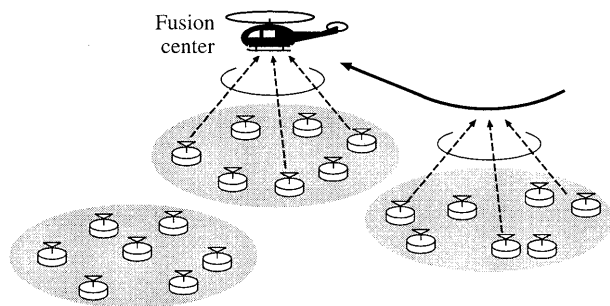


図5 分散ノード間協力通信の適用例

いられる環境がどのような相関を持っているのかに大きく依存する。

3. 分散ノード間協力通信

図5のようにヘリコプター（フュージョンセンター）が上空からセンサフィールドを回って観測データを収集するモデルを考える。ここで、個々のセンサノードの能力が制限されており、直接の伝送ではフュージョンセンターまで届かないものとする。このような状況において、センサフィールド内のセンサノードが協力して伝送を行う協力通信技術を利用することでデータ伝送可能な距離を延長することができる。

協力通信には様々な手法が提案されているが、ここでは各センサノードがランダムな位相を乗算するだけで実現できる簡易な手法 [6-8] を紹介する。

図6に符号化FSK分散ノード間協力通信の送受信機モデルを示す。分散ノード間協力通信は次の手順によりフュージョンセンターまで伝送を行う。ここで、各センサノードはフュージョンセンターへ伝送するデータを事前に共有しているものとする。

- 1) フュージョンセンターから全センサノードへデータ送信要求をブロードキャスト
- 2) 各センサノードは共有しているデータをパケット化して一斉にフュージョンセンターへ伝送する。
このとき、データパケットは誤り訂正符号化、BFSK 変調後、シンボルごとにランダムな位相が乗算され伝送される。
- 3) フュージョンセンターでは、重なりあって受信されるパケットを復調することで送信されたデータを取得する

一般に、すべてのセンサノードで完全な同期をとることはできない。このような状況では、一斉に伝送したとしても各センサノードの信号はそれぞれ固有の時間オフセットや通信路での異なる減衰と遅延（位相シフト）を伴うことになる。これが重なりあってフュージョンセンターで受信されるため、図7(a)のように各パケットはパケットごとに信号レベルが大きくなったり小さくなったりする。

符号化FSK分散ノード間協力通信では、シンボルごとにランダムな位相を乗算することで、図7(b)のようにシンボル単位で信号レベルを変動させる。信号レベルが小さく誤りが発生したシンボルに対して誤り訂正符号により訂正を行うことで、結

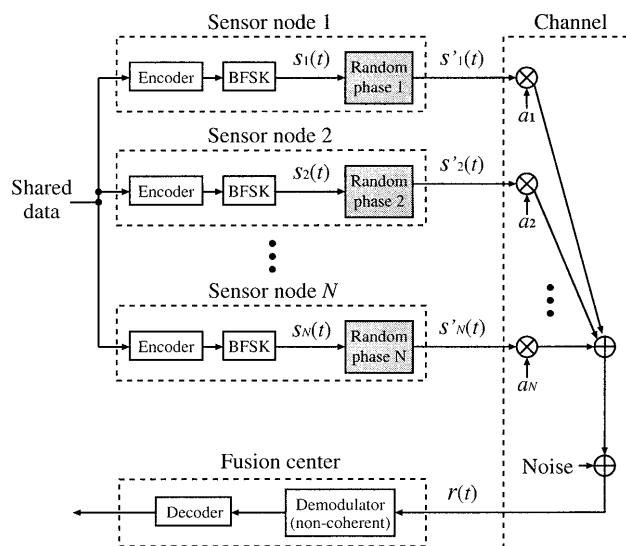
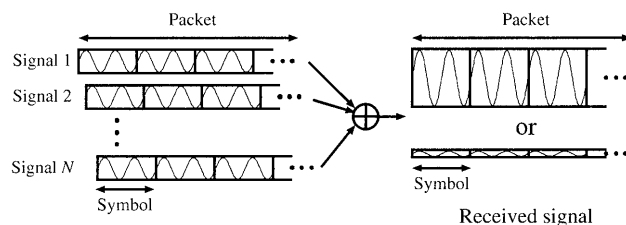
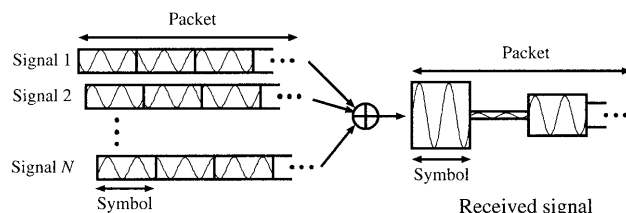


図6 符号化FSK分散ノード間協力通信の送受信機モデル



(a) ランダム位相を乗算しない場合（パケット単位で振幅が変動）



(b) ランダム位相を乗算する場合（シンボル単位で振幅が変動）

図7 受信信号レベルの変化

果として誤り率を改善できる。

4. むすび

本稿では、無線分散ネットワークとしてのセンサネットワークについて、協調と融合により信頼性の高い通信を実現する相関を用いた分散符号化・統合復号、分散ノード間協力通信を紹介した。また、観測対象の状況を推定し、的確なサービスを提供するために不可欠な位置推定の技術では、複数のセンサノードから得られたデータを融合処理することによって高い精度が得られる。さらに、データを融合する際、データの相関が高いほどパケット長の短縮効果が期待でき、省電力化を図ることができる。これらの手段に関しては [2]などを参照されたい。

文 献

- [1] “特集 センサネットワーク,” 電子情報通信学会誌, vol.89, no.5, pp.361-442, May 2006.
- [2] 三瓶政一, 阪口啓 (編), 無線分散ネットワーク, 電子情報通信学会, 2011.
- [3] K. Kobayashi, T. Yamazato, and M. Katayama, “Decoding of separately encoded multiple correlated sources transmitted over noisy

- channels," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E92-A, no.10, pp.2402–2410, Oct. 2009.
- [4] S. Doki, H. Okada, and K. Mase, "Error correction using time-dependent correction and transmit power control in sensor networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E91-B, no.11, pp.3426–3433, Nov. 2008.
- [5] K. Kobayashi, T. Yamazato, H. Okada, and M. Katayama, "Joint channel decoding of spatially and temporally correlated data in wireless sensor networks," *Proc. 2008 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2008)*, pp.930–934, Auckland, New Zealand, 7-10 Dec. 2008.
- [6] K. Nakao, T. Yamazato, H. Okada, and M. Katayama, "Cooperative transmission scheme in distributed sensor network for extension of transmission range," *Proc. Fourth International Conference on Networked Sensing Systems*, pp.89–92, June 2007.
- [7] 小林健太郎, 仲尾亘司, 山里敬也, 片山正昭, "可視光通信による分散ノード間協力通信," 第10回 DSPS 教育者会議, pp.72–73, Sept. 2008.
- [8] T. Yamazato, K. Nakao, H. Okada, and M. Katayama, "Experimental results on simple distributed cooperative transmission scheme with visible light communication," *IEICE Trans. Communications*, vol.E93-B, no.11, pp.2959–2962, Nov. 2010.