

指向性アンテナを用いたセンサネットワークルーティングの考察

前多 聡[†] Masanobu SHINOZUKA[‡] 渡辺 尚[†]

静岡大学情報学部[†] カリフォルニア大学アーバイン校[‡]

1. はじめに

近年、無人環境観測などを目的としたセンサネットワークが注目されている[1]。本稿では、センサネットワークにおけるセンサノードの消費電力の削減のための一つの解決法として、指向性アンテナの利用を検討する。また、本稿で考えるセンサノードを用いるとスパイラル状のルートが生成されることを示す。

2. センサネットワーク

本稿で扱うセンサノードは、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 等の各種超小型センサおよびデータ処理機能、無線通信機能を搭載していると仮定する[2]。またモビリティは小さいと考える。センサノードの制約には CPU やメモリなどのリソース量や通信距離があるが、その中でも特に消費電力が大きな制限となる。センサネットワークにおける消費電力の問題を解決するために指向性アンテナの利用を検討する。

3. 指向性アンテナの利用

指向性アンテナは、ある一定方向に指向性の送信ビームおよび受信ビームを形成するアンテナである。無指向性アンテナに比べ低消費電力化が可能である[3]。本稿で使用するアンテナを図1のようにモデル化する。

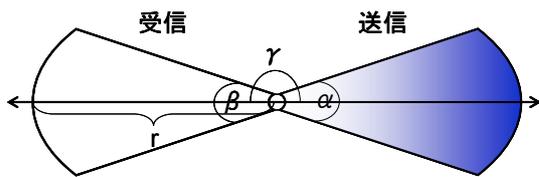


図1 指向性ビーム

3.1 消費電力

各ノードの送信または受信による消費電力 P は以下の式(1)で表される。ただし、送信電力の場合は $\theta = \alpha(\text{rad})$ 、受信電力の場合は $\theta = \beta(\text{rad})$ である。

$$P \propto 2\pi r^2 (1 - \cos(\theta/2)) \quad \dots(1)$$

式(1)より無指向性アンテナを利用した場合の消費電力に対し、ビーム角度 $\theta = \pi$ では約 50%、

$\theta = 2\pi/3$ で約 75%の消費電力を削減できる。

3.2 ルート構築率

まず、センサネットワーク空間の体積を $S(m^3)$ 、ノード i の通信領域体積を $V_i(m^3)$ 、配置するノード数を N とし、密度 D を以下の式(2)で定義する。

$$D = \sum_{i=1}^N V_i / S \quad \dots(2)$$

D は、1つのノードの通信領域内に平均して存在する他のノード数を示している。以降、簡単のため $V_i = V$ とする。通信領域体積 V は式(3)で求められる。ただし、送信領域体積は $\theta = \alpha$ 、受信領域体積は $\theta = \beta$ である。

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r^3 \left(\sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} + 2 - 3 \cos \frac{\theta}{2} + \cos^3 \frac{\theta}{2} \right) \quad \dots(3)$$

以上の仮定の下、指向性アンテナノードをランダムに配置したときのルート構築率を求めた。これを図2に示す。なお、 $\alpha = \beta = 2\pi$ は無指向性アンテナに相当する。

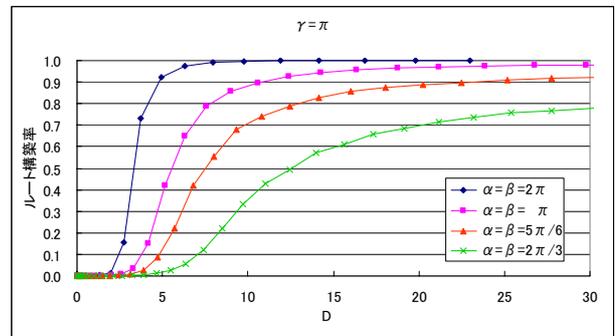


図2 指向性アンテナノードのルート構築率(1)

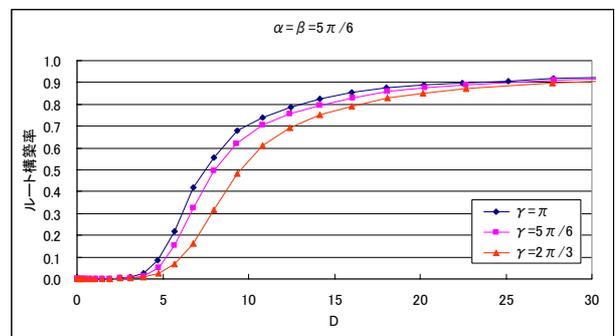


図3 指向性アンテナノードのルート構築率(2)

図2および図3より、無指向性アンテナに比べ α 、 β 、 γ が小さい指向性アンテナはルート構築が困難になることがわかる。これは指向性ア

Consideration of Sensor Network Routing Using the Directional Antenna

Satoshi Maeda[†] Masanobu SHINOZUKA[‡] Takashi Watanabe[†]

[†]Faculty of Information, Shizuoka University [‡]Dept. of Civil Eng. University of California, Irvine

ンテナでは送信ビームと受信ビームの方向が合致する確率が小さくなるためである。また、 α , β の値が小さいほど γ の値による影響は大きくなることがわかった。

3.3 考察

指向性アンテナを利用することにより、センサネットワークの消費電力の削減が可能である一方、密度 D が小さい場合、ルート構築が困難になる。したがって、指向性アンテナを利用するセンサノードは高密度センサネットワークで有効であると考えられる。

4. 密度境界

次に密度 D に関して考察する。まず、無指向性アンテナノードをランダムに配置した場合のルート構築率を図4に示す。

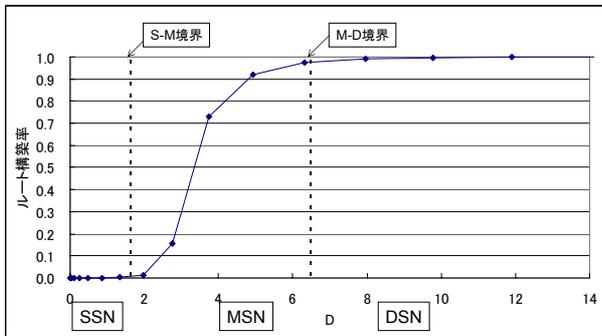


図4 無指向性アンテナノードの場合のルート構築率

図4より、構築されるルート数は大きく3つの領域 (SSN; Sparse Sensor Network, MSN; Medium-density Sensor Network, DSN; Dense Sensor Network) に区別される。3つの領域の境界は以下のように求めた。まず、図4を微分し、平均 μ , 標準偏差 σ の正規分布に近似する。この時、 $\mu - 2\sigma$ を S-M (SSN-MSN)境界、 $\mu + 2\sigma$ を M-D (MSN-DSN)境界とする。

通信可能ノード数 M は式(4)で求められる。

$$M = \frac{\theta}{2\pi} \cdot D \quad \dots(4)$$

各ビーム角度で求めた密度境界とその境界の通信可能ノード数 M を表1に示す。

表1 ビーム角度別の密度境界

$\theta = \alpha = \beta$	2π	π	$5\pi/6$	$2\pi/3$
S-M境界 B_{SM}	1.65	2.13	2.77	3.44
M-D境界 B_{MD}	6.50	12.51	16.44	23.38
M_{SM}	1.65	1.07	1.15	1.14
M_{MD}	6.50	6.26	6.85	7.79

表1より、 B_{SM} , B_{MD} における M の値はビーム角度 θ によらずほぼ一定の値となった。つまり、密度の境界は通信可能ノード数でほぼ決定できる。

5. ルート形状

図1の指向性アンテナで $\alpha = 2\pi/3$, $\beta = 2\pi/3$, $\gamma = 5\pi/6$ とすると図5(a)に示すようなスパイラル状のルートが形成される。 $N = 1000$, $D = 24$ とし、シミュレーションによって求めた構築ルートの一部を図5(b)に示す。

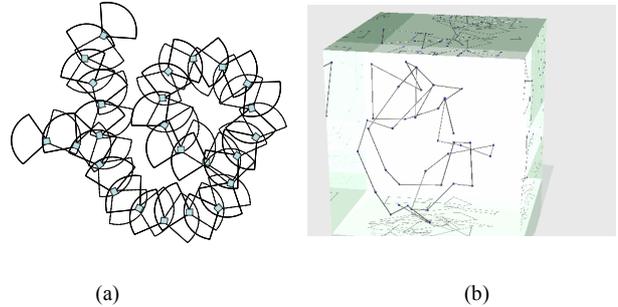


図5 スパイラル状ルート

6. アプリケーション

土木工学の分野において、橋の橋脚等にセンサを埋め込み、橋脚内のセンシング情報を得る技術が検討されている(図6)。この場合、センサはコンクリートに埋め込まれるためセンサへの電力供給が困難である。従って少なくとも十数年程度のノード寿命が必要になる。本研究で検討した指向性アンテナを用いるセンサネットワークではルート長が長くなる欠点があるが、低消費電力の点から上記のようなアプリケーションに適していると考えている。



図6 UCIにおける橋脚の振動測定

7. おわりに

本稿では、センサネットワークにおいて、低消費電力化をはかる手法の一つとして、指向性アンテナの利用を検討した。指向性アンテナを利用するセンサノードは高密度センサネットワークに特に有効である。今後はより詳細なルーティング方式の検討をおこなう。

参考文献

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," Proc. IEEE Communications Magazine, Aug 2002.
- [2] <http://www.analog.com>
- [3] A. Nasipuri, K. Li, U.R. Sappide, "Power Consumption and Throughput in Mobile Ad Hoc Networks using Directional Antennas," Proc. IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), Oct 2002.