

1 はじめに

ユビキタスセンサネットワークの主要なアプリケーションとして移動ターゲット捕捉がある。その実現において、ターゲットの検知のみを行う大量のセンサにより構築される場合、位置情報の精度は低く、バッテリー駆動のため安定した捕捉を維持するには省電力化が必要となる。そこで、メッセージ送受信により自律的に複数センサでターゲットを同時捕捉し、ターゲットの移動に追従してセンサの状態を遷移させることで捕捉性能・消費電力を改善する手法が提案されている。しかし、この手法ではターゲット移動速度の増加に伴い、再捕捉が頻発することで捕捉率が低下する。そこで、本研究では既存手法の問題点を調査し、高速移動時の捕捉性能の改善を目的としたパラメータの調整と省電力性能の改善を行う手法を提案する。

2 移動予測型ターゲット捕捉手法

センサはセンシングエリアにおけるターゲットの有無のみを感知情報として取得する。省電力機構として、隣接センサとのメッセージ送受信が可能な Active 状態 (a[s]) と、メッセージの受信のみ可能な Listen 状態 (b[s])、通信/センシング共に行わない Sleep 状態 (c[s]) の 3 状態を有するものとする。また、捕捉状態を通知するために、ALERT(ターゲット検知時に送信)、DETECT(ALERT 受信センサがターゲット検知時に送信)、LEAVE(捕捉不可時に送信) の 3 メッセージを使用する。

2.1 捕捉センサ決定アルゴリズム

要求センサ数 M 個でターゲットを同時捕捉する。

- Active センサがターゲット検知、ALERT メッセージ送信、捕捉
- ALERT メッセージ受信センサはランダム時間 (0~1[s]) 待機後 Active に遷移、ターゲットの捕捉判断を行う。待機中に ALERT メッセージと他センサからの DETECT メッセージの受信数をカウントし、その合計数に基づき、以下の動作を行う。
 - M 個未満:DETECT メッセージ送信、ターゲット捕捉
 - M 個以上:Active 時間後に Listen に遷移

2.2 移動予測型捕捉アルゴリズム (基本手法)

メッセージ送受信による状態遷移でターゲット移動に追従した捕捉をする。

- 基本動作:Sleep と Listen を周期的に遷移
- Listen でメッセージ受信時
 - DETECT メッセージを受信:Listen を継続
 - ALERT メッセージを受信:Active へ遷移
- Active
 - ターゲット検知可:2.1.2 により捕捉センサの選出に参加
 - ターゲット検知不可:Active を継続し
 - ALERT 受信:Active を継続
 - ALERT 受信以外:Listen へ遷移
- ターゲット捕捉終了:LEAVE メッセージを送信
- LEAVE メッセージ受信:Active へ遷移

2.3 メッセージ送信タイミング調整手法 (提案手法)

- 捕捉率に関する改良

2.2 ではターゲット移動速度増加に伴い、再捕捉が増加し DETECT 送信時の時間待機が影響し捕捉率が低下する。そこで、DETECT 送信待機時間を調整する。
- メッセージ送信回数に関する改良

基本手法では同時刻に Active に遷移するセンサが多数存在し、ALERT メッセージを同時に送信するため、メッセージの衝突が増加し送信回数が多くなる。そこで衝突を回避するため ALERT 送信待機時間の調整を行う。

2.4 近隣センサ状態を活用した捕捉アルゴリズム (改善手法)

2.2 では捕捉に必要なセンサが Active へ遷移し電力消費量が増加する。そこで、センサの Active への遷移を抑制するために、ALERT 送信時にセンサは以下のように動作する。

- 周囲の捕捉状態のセンサ数を調査
 - 捕捉センサ数 \geq 要求センサ数:
 - 確率 p で ALERT メッセージを送信、送信しない場合は Listen へ遷移
 - 捕捉センサ数 $<$ 要求センサ数:
 - 通常通り ALERT メッセージを送信

3 評価指標

式 (1) に捕捉率 P_m を定義し、消費電力を表す指標として、式 (2) に状態遷移に関する消費電力量 E_{state} 、式 (3) にメッセージ送受信に関する消費電力量 E_{mes} を定義する。

$$P_m[\%] = \frac{\text{要求数 } M \text{ 個のセンサで捕捉した時間の総和 [s]}}{\text{シミュレーション時間 [s]}} \times 100 \quad (1)$$

$$E_{state}[J] = \frac{\text{Active 総時間} \times 0.030[W] + \text{Listen 総時間} \times 0.0216[W]}{\text{捕捉に関与したセンサ数}} \quad (2)$$

$$E_{mes}[J] = \frac{\text{送信回数} \times 0.0567[W] + \text{受信回数} \times 0.0629[W]}{\text{捕捉に関与したセンサ数}} \quad (3)$$

表 1: 改善手法における確率 p の影響 (5[m/s])

p	基本手法	1(提案手法)	0.7	0.5	0.3
捕捉率 [%]	71.92	84.04	84.49	83.69	79.48
$E_{state}[J]$	3.92	4.16	3.95	3.97	3.83
$E_{mes}[J]$	2.08	2.11	1.82	1.56	1.22

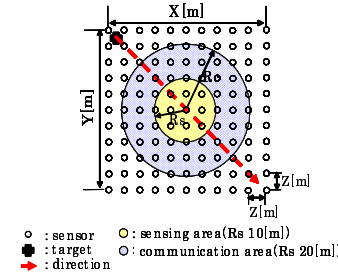


図 1: シミュレーションモデル

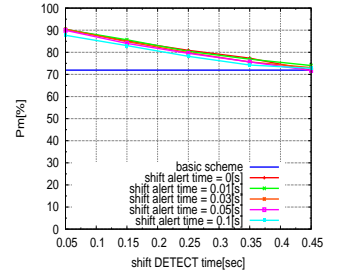


図 2: 捕捉率 P_m (提案手法)

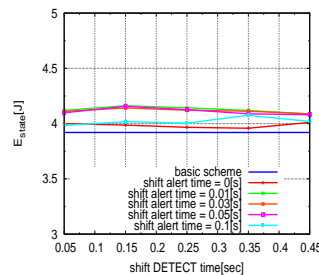


図 3: 電力消費量 E_{state} (提案手法)

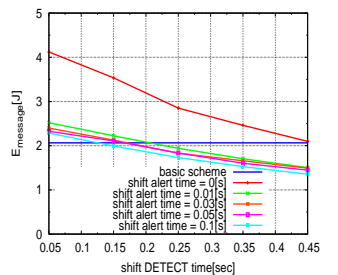


図 4: 電力消費量 E_{mes} (提案手法)

4 シミュレーション結果と考察

図 1 にシミュレーションモデルを示す。各センサのセンシング半径 $R_s=10[m]$ 、通信半径 $R_c=20[m]$ 、センサ配置間隔 $Z=4[m]$ とする。また要求センサ数 $M=3$ 、各状態時間を $a=3[s]$ 、 $b=3[s]$ 、 $c=4[s]$ とする。図 2 に基本手法と提案手法における捕捉率 P_m 、図 3 に電力消費量 E_{state} 、図 4 に電力消費量 E_{mes} を示す。それぞれ、ターゲット速度は 5[m/s]、x 軸は DETECT 送信の平均ラウンドタイム待機時間、凡例の "shift alert time = x[s]" は ALERT 送信待機時間を示しており、それぞれ [0,2x] におけるランダム値の平均を示す。

図 2 より提案手法の捕捉率は DETECT 送信待機時間が小さくなるに伴い増加する。これは、捕捉センサ決定までの時間が短くなるためである。また、ALERT 送信待機時間の変更は捕捉率に影響しないことがわかる。

図 3 から電力消費量 E_{state} は、基本手法に比べ提案手法が大きくなる。これは ALERT 送信待機時間の増加により、Active 状態滞在時間が大きくなるため、ALERT 送信待機時間が小さい場合は電力消費量 E_{state} は小さくなる。

図 4 から提案手法の電力消費量 E_{mes} は、ALERT 送信タイミングを変更しない場合 (図中 "shift alert time = 0[s]") には基本手法よりも大きくなる。これは DETECT メッセージの衝突が増加するためである。しかし、ALERT 送信待機時間が 0.01[s] 以上の場合、DETECT 送信待機時間を大きくするに伴い、ALERT メッセージの衝突が減少し、基本手法と同等もしくはそれ以下となる。また、ALERT 送信待機時間を変更することによる電力消費量 E_{mes} への影響はほとんど見られないことがわかる。

以上から ALERT 送信待機時間を 0.05 秒、DETECT 送信待機時間を 0.15 秒と設定した場合が最適となり基本手法と比較した場合、電力消費量は同等、捕捉率は約 15% の改善が可能となる。

改善手法の性能評価として表 1 に ALERT メッセージ送信確率 p の影響を示す。確率 p を小さくするに伴い捕捉率は低下し、電力消費量 E_{state} 、 E_{mes} は改善する。これは、ALERT メッセージを送信しない場合が増加し、ターゲットの捕捉が遅れ Active センサが減少するためである。一方、電力消費量 E_{mes} の減少は、ALERT/DETECT メッセージの減少によるものである。

以上から、捕捉率の劣化が少なく、電力消費量の改善が大きい確率 $p=0.5$ が最適と考えられる。

5 まとめ

本研究では、既存手法における問題点を調査し、提案手法ではメッセージ送信タイミングの調整により捕捉率の改善を実現した。また改善手法では、近隣センサ状態を活用することで、省電力性能の向上も実現可能であることを示した。

研究業績

阿南公憲 他, "ターゲット捕捉センサネットワークにおける捕捉アルゴリズムの改善" 情報処理学会 火の国シンポジウム Mar. 2011