

ターゲットの移動性を考慮した複数センサによる トラッキングアルゴリズムの提案と評価

植田啓文[†] 塚本和也[†] 田村 瞳[†] 川原憲治^{††}
尾家祐二^{††} 須田達也^{†††}

[†] ^{††}九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科 〒 820-8502 福岡県飯塚市川津 680 番 4
^{†††} カリフォルニア大学 アーバイン校 コンピュータ科学科 〒 92697 カリフォルニア州 アーバイン
E-mail: [†]{uedahiro,kazuya,tamu}@infonet.cse.kyutech.ac.jp,
^{††}{kawahara,oie}@cse.kyutech.ac.jp,^{†††}suda@ics.uci.edu

あらまし 近年、センサ同士が協調することでターゲット捕捉などに代表される様々なサービスを提供するセンサネットワークが注目されている。しかし、各センサの機能は大きく制限されるため、高精度で常にターゲットを捕捉することは極めて困難となる。本研究ではこの問題を解決するために (1) 複数センサによる監視 (2) ターゲットの移動に応じた監視センサの迅速な引継ぎ、の 2 つを満たすトラッキングアルゴリズムを提案し、シミュレーション実験によりその有効性を確認する。本提案機構を用いることで、ターゲットの高速移動時においても低い通信オーバーヘッドで監視センサを決定し、高いトラッキング確率を維持できることを明らかにする。

キーワード センサネットワーク、複数センサ、移動ターゲット、トラッキングアルゴリズム

Proposal and Evaluation of Multi-Point Surveillance algorithm for Moving Target in Wireless Sensor Networks

Hirofumi UEDA[†], Kazuya TSUKAMOTO[†], Hitomi TAMURA[†], Kenji KAWAHARA^{††},
Yuji OIE[†], and Tatsuya SUDA^{†††}

[†] ^{††}Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology
Kawazu 680-4, Fukuoka 820-8502, Japan
^{†††} University of California, Irvine, Irvine, California 92697
E-mail: [†]{uedahiro,kazuya,tamu}@infonet.cse.kyutech.ac.jp,
^{††}{kawahara,oie}@cse.kyutech.ac.jp,^{†††}suda@ics.uci.edu

Abstract We consider the problem of moving target tracking in Wireless Sensor Network (WSN). In WSN which consists of great number of sensors, their capability is limited to quite low performance because of their low cost. Therefore, it is important to satisfy flowing two requirements for the target tracking: (I) Multi-point surveillance with appropriate number of sensors that depends on the characteristics of applications and user requirement, (II) Dynamic switching and quick decision of monitoring sensors in response to the movement of target. Therefore, we propose multi-point surveillance scheme of moving target and evaluate its performance. Through the simulation experiments, we demonstrate that our proposed scheme can quickly and appropriately decide the monitoring sensors with low communication overhead in response to the movement of target, thereby maintaining high tracking probability even for the high speed target.

Key words Sensor network, Multiple sensors, Moving target, Target tracking algorithm

1. はじめに

近年の無線通信技術の発達やコンピュータの小型化に伴い、様々なものがネットワークに接続され相互に情報を交換可能な「ユビキタスネットワーク」が実現すると考えられる。ユビキタスネットワークにおいてユーザに適切なサービスを提供するには、ユーザの周辺環境情報や要望を認識した上で情報を提供可能なセンサネットワーク技術が必要不可欠になる [1]。センサネットワークでは、各センサが隣接センサと通信を行い協調動作することで、様々な分野において多様なサービスを提供可能であると考えられる。本研究では、人や移動体のトラッキングサービスに着目する。

センサネットワークは、森林観測や人流観測を目的として様々な環境で動作することが望まれるため、各センサは小型かつ低コストである必要がある。その結果、電源、メモリ、プロセッサの性能は大きく制限されるため、センサのセンシング能力・通信能力も大きく制限される。そのため、個々のセンサが取得可能な情報は制限され、詳細な情報を取得できない。そこで、一つの監視対象オブジェクトを複数のセンサで同時に捕捉し、取得した情報を統合することによって、ターゲットの存在位置や進行方向などの詳細な情報を取得するセンサフュージョン技術が必要になる [2]。以上のことから、センサネットワークでは複数のセンサを利用したターゲット捕捉アルゴリズムの提案が重要になる。

これまでに我々は、複数のセンサで同時にターゲットを監視するための手法（基本手法）を提案したが [3]、その手法ではターゲットの移動速度に応じて性能が急激に劣化するという問題が発生することを明らかにした。これは、ターゲットの移動によるターゲット周辺の Active センサ分布状況の動的な変化に、基本手法が素早く対応できないためである。この問題を解決するためには、ターゲットの移動に応じて監視センサを順に引き継ぎつつ変更する必要がある。

そこで本研究では、ターゲットの移動性を考慮してこの基本手法を改良し、改善手法のターゲットの移動速度に対する耐性をシミュレーション実験によって明らかにする。さらに改善手法について、センサの配置密度や配置パターンによる影響を調査し、改善手法の適応性を示す。

2. ターゲットトラッキング手法

本章では、仮定するセンサの仕様や基本手法 [3] について説明した後、移動ターゲットに対する基本手法の問題点を示し、最後に問題点を考慮した改善手法について述べる。

2.1 センサの仕様

センサの能力はセンシング能力、コミュニケーション能力の2つに大別される。本研究では低機能なセンサにより構築されたセンサネットワークを仮定し、各センサの機能を図1に示すように定義する。

• センシング能力

半径 R_s の円内のセンシング範囲においてターゲットの存在の有無のみを検知可能

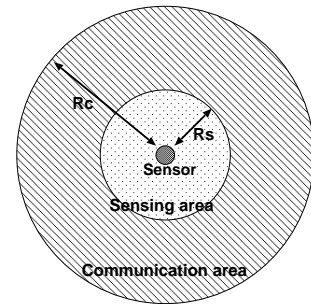


図1 センサ能力

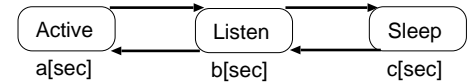


図2 状態遷移モデル

• コミュニケーション能力

半径 R_c の円内のコミュニケーション範囲においてブロードキャスト通信のみが可能

また、各センサは自身の省電力化のために、図2に示すように Active, Listen, Sleep の3状態を一定期間ごとに順に遷移するものとする。ここで、Active状態のセンサはターゲットのセンシング及び他のセンサとのメッセージの送受信が可能であるとし、Listen状態では他のセンサからのメッセージの受信のみが可能な状態とする。また、Sleep状態は通信、センシング共に不可能な省電力状態とする。ここでは、各状態滞在期間をそれぞれ $a, b, c[sec]$ と定義する。

2.2 基本手法

本節では、文献 [3] で我々が提案した基本手法において、アプリケーションやシステムが要求するセンサ数 M 個のセンサでターゲットを捕捉するまでの流れ、及びその手法を用いた場合の問題点について述べる。

基本手法では、各センサはメッセージの受信数に基づいて、自身がターゲットを監視する Active 状態に留まるか、監視せずに Listen 状態に遷移するかを自律分散的に決定する仕組みになっている。この動作は、ターゲット検知通知と捕捉センサ決定の2つの処理からなる。

1 ターゲット検知通知

センサは Active 期間中、センシング範囲内のターゲットの有無を常に監視する。新規にターゲットを検出した場合、コミュニケーション範囲内に ALERT メッセージを送信して、その検知を周辺のセンサに通知する。ALERT メッセージを送信したセンサは Active 状態を維持する。

2 捕捉センサ決定

ALERT メッセージを受信した Active/Listen 状態の各センサは、ターゲットが近隣に存在すると判断して直ちに Active 状態を維持/に遷移し、自身のセンシング範囲内におけるターゲットの有無を確認する。検知不可能な場合は Listen 状態に遷移するが、検知可能な場合は他の Active センサから送信されるメッセージとの衝突を避けるために $0 \sim 1[sec]$ のランダム待ち時間を計算する。各センサはこの待ち時間が経過した時点の受

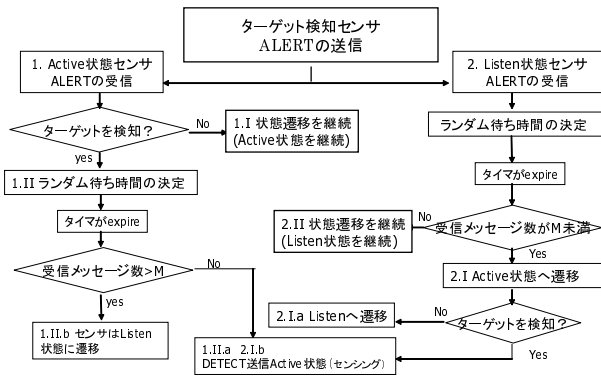


図3 ターゲット捕捉の流れ

信しているメッセージ (ALERT/DETECT) の合計数によって以下のように動作する。

(a) M 個未満: M 個のセンサでターゲットを監視できていないと判断し DETECT メッセージを送信し, Active 状態を維持。

(b) M 個以上: すでに M 個のセンサでターゲットを監視していると判断し, メッセージを送信せず Listen 状態に遷移。

基本ターゲット捕捉手法は, 複数センサによるターゲットの捕捉のみを目的として設計されているため, ターゲットの移動性は考慮されていない。そのため, 移動ターゲットをトラッキングする場合においては以下の3つの問題が発生し得る。

1 複数のセンサ間の状態同期

ALERT メッセージを受信したがターゲットを検知不可能なセンサは, ほぼ同時に Listen 状態に遷移するため, それらのセンサの以降の状態が同期することになる。このような場合, ターゲットを監視している M 個のセンサのセンシング範囲からターゲットが離脱した際に, 新たにターゲットを検知する Active 状態のセンサが存在しない可能性が高く, 継続的なターゲットトラッキングが困難となる。

2 消費電力と遅延の増加

ALERT メッセージを受信したセンサはターゲットの検知の可否に関わらず, すべて一度 Active 状態に遷移する。一般的に状態遷移には電力消費と状態遷移完了までの遅延が発生するため, 各センサの消費電力が増加し, センサネットワーク全体のライフタイムの減少, 及び通信性能の低下の要因になる [4]。

3 メッセージの衝突及び捕捉センサ決定時間の増加

メッセージ衝突回避の目的で DETECT メッセージの送信時に $0 \sim 1[\text{sec}]$ までのランダム待ち時間を計算している。そのため, ターゲットを捕捉可能なセンサが多く存在する場合, メッセージの衝突回避ができず, M 個の捕捉センサの決定が困難になる。逆にセンサ数が少なく衝突確率が低い場合は, DETECT メッセージの送信までの待ち時間が大きく, 捕捉センサ決定までの待ち時間が増加し, M 個で同時にターゲットを監視可能な期間が減少してしまう。

2.3 改善手法

本節では, 前節で述べたターゲット移動時の基本手法の問題を考慮した改善手法について, 図3のフローチャートを用いて

説明し, 主な改良点について述べる。その後, 改善手法で提案するメッセージ送信制御について述べる。

基本手法では, 捕捉センサ決定段階において Active, Listen 状態のセンサは同じ動作を行っていたが, これによって状態同期が発生していた。そこで, 改善手法では, これ回避することを目的として, ALERT メッセージ受信時のセンサの状態によって, 捕捉センサ決定処理を変更する。

1. ALERT を受信した Active 状態のセンサ

Active 状態のセンサは, ターゲットを検知可能かどうかによって自身の状態を次のように決定する。

I. 検知不可: この時, ALERT メッセージを受信しているため, 受信センサは周囲にターゲットが存在すると推測し, 残りの状態滞在時間に加えてある一定期間状態遷移を延長し Active 状態を維持する。

II. 検知可能: ランダム待ち時間を計算し, ランダム待ち時間経過時点までに受信した ALERT メッセージと DETECT メッセージの合計数によってさらに以下の動作を行う。

(a) M 個未満: DETECT メッセージを送信し, ターゲットの監視を行う。

(b) M 個以上: DETECT メッセージを送信せず Listen 状態に遷移する。

2. ALERT を受信した Listen 状態のセンサ

Active 状態のセンサと異なり即座にランダム待ち時間を決定する。ここで, Listen 状態のセンサのランダム待ち時間の最小値は Active センサのランダム待ち時間の最大値よりも大きな値に設定し, Listen 状態のセンサは必ず Active 状態のセンサの後に監視するかどうかの判断を行う。ランダム待ち時間経過後, 受信メッセージ数に基づいて次のように動作する。

I. M 個未満: 更に監視センサが必要であると判断し Active 状態へと遷移し, ターゲット検知可能かどうかによって自身の状態を決定する。

(a) 検知不可: Listen 状態へ遷移する。

(b) 検知可能: DETECT メッセージを直ちに送信しターゲットの監視を行う。

II. M 個以上: そのまま Listen 状態を継続する。

2.4 問題点に対する改良

改善手法は, 予め設定したセンサの状態遷移サイクル (図2) を維持するための制御 (図3 (1.I),(2.II)) を加えているため, 基本手法の1つ目の問題点であるセンサの状態の同期を抑制することが可能となる。ここで, ALERT メッセージの受信はターゲットが近くに存在することを示すため, 移動してくるターゲットを確実に捕捉する目的で, 図3(1.I)では, 残りの Active 状態時間+ある一定期間, Active 状態を継続するように変更を加えている。ここでは, 追加する時間を $2[\text{sec}]$ とする。なお, 最適な Active 追加時間の決定は本研究では対象としないが, 将来的には調査を行う予定である。

また, 図3 (1.II),(2) の処理では, 前節で述べたように Active, Listen 状態のセンサ毎にランダム待ち時間を異なる値に設定する。このことにより, Listen 状態のセンサは Active 状態でターゲットを捕捉可能な全センサの数が M に満たない場合のみ,

表 1 シミュレーションパラメータ

Simulation time	600 [sec] (10 [min])
Simulation area	6000 [m] × 6000[m]
Deployment	Grid(interval 4/6 [m]) or Random
Required number of sensors	$M = 3$
Sensing Range	$R_s = 10$ [m]
Communication Range	$R_c = 20$ [m]
Sojourn time of each state	Active(a):Listen(b):Sleep(c) = 1:1:1 (a = 4 [sec], b = 2 [sec], c = 4[sec])
Speed of target	0~10 [m/sec]
Message length	10 [bytes]
Slot Time	400 [μ sec]
Maximum Slot	ActMax = 30, LisMax = 128
Bandwidth	250 [kb/s]

ターゲットを監視することになる．以上の制御より，Listen 状態から Active 状態への状態遷移回数を削減し，基本手法の 2 つ目の問題である消費電力も低く抑えることが可能となる．

最後に基本手法の 3 つ目の問題を解決するためのメッセージ送信制御について説明する．改善手法ではメッセージ送信タイミング決定にタイムスロット方式を用いる．最近のセンサの実装品では無線チャネルアクセス制御方式 (MAC) として，IEEE802.15.4 [5] で採用されている CSMA/CA や，TinyOS [6] で採用されている CSMA など様々な MAC プロトコルが採用されている [7], [8]．本提案機構はどの MAC プロトコルが用いられても正常に動作することを目的とし，各センサはメッセージの衝突回避のためにフレーム送信時間を考慮したタイムスロット値に基づき，ランダム待ち時間を算出する．算出方法を以下に示す：

$$\text{Random delay time} = \text{Random value} \times \text{Slot time} \quad (1)$$

$$\text{Slot time} = \frac{\text{Data size}}{\text{Data rate}} + \text{Propagation Delay} \quad (2)$$

本研究では，Active，Listen 状態センサにおけるスロット数の最大値をそれぞれ ActMax，LisMax とする．

3. シミュレーションモデル

本節では，本研究で提案したターゲット捕捉手法を評価するために用いたシミュレーション環境について述べる．シミュレーションパラメータを表 1 に示す．シミュレーションは，図 4 に示すようにセンサの配置パターンとして，グリッド，ランダム の 2 種類の環境を仮定する．ここで，グリッド配置ではセンサの配置間隔が 4[m]，6[m] の場合について調査を行い，ランダム配置では，グリッド配置と同じ数のセンサをエリア全体にランダムに配置する．

また，シミュレーションモデルにおいてターゲットを捕捉可能なセンサ数，つまり， M 個の監視センサの候補となり得る平均センサ数 Y は，ALERT メッセージを受信しターゲットを検知可能な状態である Active，Listen 状態のセンサの平均個数より算出することができ，次式で表される：

$$X = \frac{\pi \times R_s^2}{(\text{Interval between sensors})^2}, \quad (3)$$

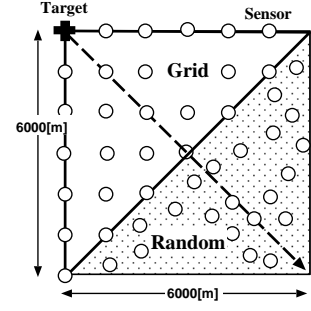


図 4 シミュレーションモデル

$$Y = \frac{a + 2b}{a + 2b + c} \times X. \quad (4)$$

表 1 のパラメータを式 (3)，(4) に代入すると， Y はセンサ配置間隔 4[m] では 12 個，6[m] では 5.6 個となる．以降，本研究では，表 1 に示すように要求センサ数 $M = 3$ に固定するため，配置間隔 4[m] をターゲット検知可能なセンサ数が多い dense，配置間隔 6[m] をセンサ数が少ない sparse と定義する．

本研究では，手法の性能評価を行うための性能指標として以下の 3 つを用いる．

- Convergence Time

ALERT メッセージが送信されてから要求センサ数 M で捕捉するまでの所要時間．

- Tracking 確率

シミュレーション時間に対し要求センサ数 M で捕捉できる時間の割合：

$$\text{Tracking prob.} = \frac{\text{Tracking period}}{\text{Simulation time}}. \quad (5)$$

- Message overhead

単位 Tracking 確率当たりのメッセージ交換数：

$$\text{Message overhead} = \frac{\text{Num. of messages}}{\text{Tracking prob.}}. \quad (6)$$

4. シミュレーション結果

本章では，シミュレーション結果を示す．まず，基本手法と改善手法の性能比較を行い，改善手法の有効性について検証する．その後，改善手法の詳細な性能について調査する．ここでは，要求センサ数 M を 3 とした場合を評価する．

4.1 アルゴリズムの性能比較

本節では，基本性能を調査するために，まず，グリッド配置 (dense) 環境においてシミュレーションを行い，ターゲット移動速度を変化させた際の基本手法と改善手法の性能を 3 章で述べた性能指標を用いて比較した．

4.1.1 Tracking 確率

図 5 にターゲットの移動速度を変化させた場合の Tracking 確率を示す．図より基本手法 (図中，“basic scheme”) は 2.2 節で述べたセンサの状態の同期が発生し，周囲にターゲットの移動を検知可能な Active 状態のセンサが存在しなくなるため，移動速度の増加に応じて急激に Tracking 確率が減少している．ここで基本手法において，ターゲットの移動速度が秒速 2[m] 付

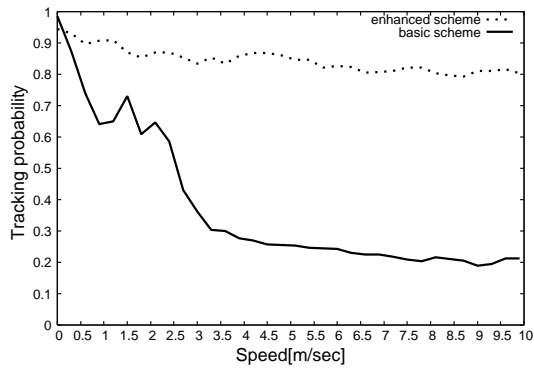


図 5 Tracking probability

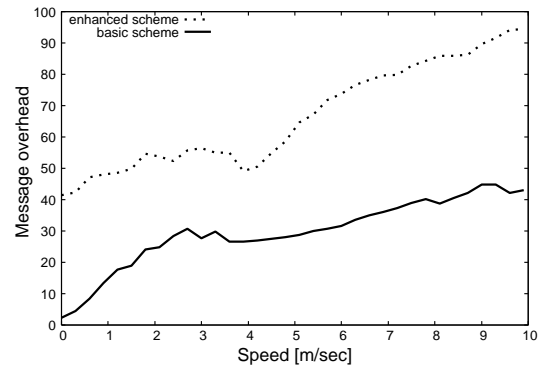


図 7 Message overhead

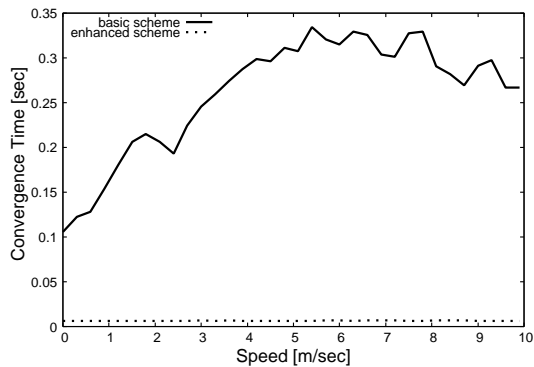


図 6 Convergence time

近で Tracking 確率が増加しているのは、センサ配置パターンと状態遷移サイクルの影響によるためである。一方、改善手法(図中、“enhanced scheme”)は、ターゲットの移動速度に依存せず Tracking 確率がほぼ一定で高い値を示しており、移動による影響が少ないことがわかる。

4.1.2 Convergence Time

次に図 6 にターゲットの移動速度を変化させた場合の Convergence time を示す。図より基本手法の場合、Convergence time は改善手法と比較してかなり大きな値 (10 倍以上) となることがわかる。これは、基本手法の DETECT メッセージ送信までのランダム待ち時間が 0~1[sec] の間で決定されているためである。一方、改善手法の Convergence time に注目すると、ターゲットの移動速度が変化しても、ほぼ一定の値を示している。これは、式 (2) で示すように非常に小さなスロット値によってランダム待ち時間が決定されているためである。このスロットベースでのランダム待ち時間の決定により、ターゲットの移動速度に依存することなく Convergence time を短縮可能であることがわかる。

4.1.3 Message overhead

図 7 に Message overhead を示す。図より改善手法の Message overhead は基本手法に比べて約 3~4 倍と高くなることがわかる。これは改善手法において出来る限り状態遷移サイクルを維持するように制御しているためである。つまり、改善手法では、基本手法において発生したセンサの状態の同期が抑制され、ターゲットを検知可能なセンサ数が増加する。その結果、ALERT メッセージ数が増加し、Message overhead が増加す

る。しかし、この Message overhead の増加がデータ通信に与える影響は極めて小さい。例えば、ターゲットの移動速度が秒速 10[m] で単位時間当たりのメッセージ交換に必要な帯域は以下の式 (7) より算出すると物理帯域の 0.4 % 程度となり、この影響はほとんど無視できることがわかる。

Link utilization

$$= \frac{\text{Num. of Message} \times \text{Message length}}{\text{Simulation time} \times \text{Bandwidth}} \quad (7)$$

上記の結果より、改善手法は高速で移動するターゲットに対しても低い Message overhead を保ちつつ、高速に M 個の監視センサを切り替え、その結果、高い Tracking 確率を達成できることが確認できた。次章では、この改善手法の性能について詳細に調査を行う。

4.2 改善手法のセンサ配置・密度による影響

本節では、改善手法の詳細な性能について述べるために、センサの配置パターンをグリッド・ランダムと変化させ、さらにセンサの密度が dense, sparse と変化させた場合の性能を比較する。

4.2.1 Tracking 確率

図 8 にターゲットの移動速度を変化させた場合の Tracking 確率を示す。まず、密度の影響に着目すると、図より dense の場合が sparse より良い結果を示していることが確認できる。これは、センサ密度が高い dense では、ターゲット周辺に存在する Active センサ数が sparse に比べて多く、ターゲットの移動を検知しやすいためである。次に、センサの配置パターンの影響に着目してグリッドとランダムを比較すると、グリッド配置の方が良い性能を示していることがわかる。これは、ランダム配置では、ターゲット周辺のセンサ数が一定でないことが原因である。また、ターゲットの移動速度が秒速 4[m] 以降では Tracking 確率はセンサの配置パターンや密度に依存することなく収束しはじめており、ランダム配置で sparse であるような最悪の場合においても改善手法では 50 % 以上の Tracking 確率を達成できることがわかる。

4.2.2 Convergence Time

図 9 に Convergence time を示す。図より配置方法や密度に関わらず Convergence time は常に 0.01[sec] 以下であり、配置密度が sparse の場合、ターゲットの移動速度による影響が大きいことがわかる。2 章で説明したように、改善手法では、

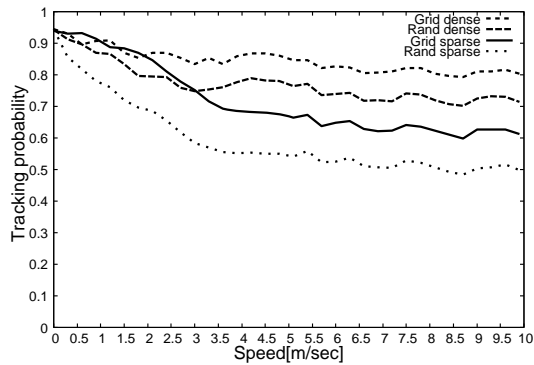


図 8 Tracking probability

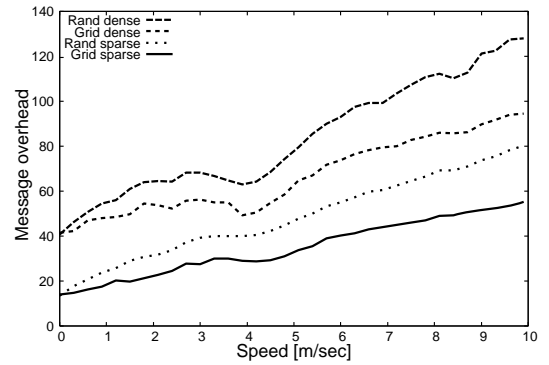


図 10 Message overhead

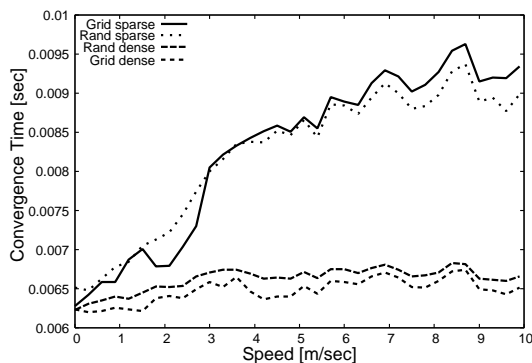


図 9 Convergence time

Listen 状態のセンサの DETECT メッセージを送信するまでの待ち時間が Active 状態のセンサの待ち時間よりも大きな値となるため、Active センサ数が少ない sparse では、要求センサ数 M を Active 状態のセンサだけで満たすことができず、頻繁に Listen 状態のセンサが Active 状態に遷移してターゲットを捕捉することになる。これにより、ターゲットの捕捉開始までの Convergence time が増加している。

4.2.3 Message overhead

図 10 に Message overhead を示す。図よりターゲットの移動速度に応じて Message overhead が増加していることがわかる。これはターゲットの移動速度が速くなるほど、 M 個の監視センサを切り替える回数が増加するため、ALERT メッセージの発生回数が増加することが原因である。しかし、前節で説明したようにメッセージ交換に要する帯域は、ランダム配置 (dense) 環境でターゲットの移動速度が秒速 10[m] の場合でも物理帯域の 0.45 % と極めて低く、本提案手法がネットワーク資源にほとんど影響を与えないことを確認している。

以上のことから、改善手法ではどのようなセンサ配置環境下においても、低い Message overhead で迅速に捕捉センサを決定し、高い Tracking 確率を実現できることを明らかにした。

5. ま と め

本研究では、センサネットワークにおけるターゲットの移動性を考慮した新しい複数センサによるトラッキング手法を提案し、シミュレーションによって評価を行った。まず、基本手法におけるターゲット移動時に生じる、センサの状態の同期、消費電力

と遅延の増加、メッセージの衝突と捕捉センサ決定時間の増加という 3 つの問題点を指摘した。これらを踏まえ、センサの状態遷移の継続、状態遷移回数の抑制、タイムスロットベースでのメッセージ送信待ち時間の決定を実現する改善手法を提案した。シミュレーション実験により、改善手法は基本手法に比べ、高速で移動するターゲットに対しても低い Message overhead を保ち、捕捉センサを迅速に決定し、極めて高い Tracking 確率を達成できることを示した。さらに、改善手法は、どのようなセンサ配置環境下においても、高い性能を維持でき、最悪時においても 50 % の確率で M 個のセンサでターゲットを捕捉できることを明らかにした。

今後は、要求センサ数 M を変化させた場合の影響や最適な Active 追加時間の調査、消費電力の導出の検討などが考えられる。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究 (B) (課題番号 18700066)、NSF (ANI-0083074, ANI-9903427, ANI-0508506)、及び DARPA (MDA972-99-1-0007)、AFOSR (MURI F49620-00-1-0330) California MICRO and CoRe programs、日立、日立アメリカ、日立 CRL、日立 SDL、DENSO IT Lab、NICT、NTT Docomo、Novell の支援を受けている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] 阪田史郎, 他, “ZigBee センサネットワーク通信基板とアプリケーション,” 秀和システム, 2005.
- [2] 安藤繁, 他, “センサネットワーク技術 コピキタス情報環境の構築に向けて,” 東京電気大学出版局, 2005.
- [3] 植田啓文, 他, “複数センサによる移動ターゲット Tracking 手法の提案と評価,” IEICE 総合大会, 2006 年 3 月.
- [4] 鄭立, “ZigBee 開発ハンドブック,” 株式会社リックテレコム, 2006.
- [5] ZigBee Alliance: <http://www.zigbee.org>
- [6] TinyOS: <http://www.tinyos.net>
- [7] W. Ye et. al., “An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,” Proceedings of the IEEE Infocom, 2002
- [8] J. Pollastre et. al., “Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks,” Proceedings of ACM SenSys, 2004.