

# アドホックネットワークにおける 消費電力を考慮したデータ複製配置方法

篠原 昌子<sup>†</sup> 林 秀樹<sup>†</sup>  
原 隆浩<sup>†</sup> 西尾 章治郎<sup>†</sup>

アドホックネットワークでは、移動体の移動にともない、ネットワークが頻繁に分断されるため、データの利用率が低下してしまう。この問題を解決するため、移動体が他の移動体の持つデータの複製を作成することが有効である。しかし、他の移動体が頻繁にアクセスするデータを持つ移動体は、多くのデータを転送するため、他の移動体より電力を多く消費してしまう。そこで本論文では、データの利用率の向上と移動体間の消費電力の均一化を目的として、消費電力を考慮した2つの複製配置方法を提案する。1つめの方法では、各移動体が、データへのアクセス頻度とネットワークに存在する各データの個数を考慮して複製を配置する。2つめの方法では、電力残量の少ない移動体が電力を使い果たすことを防ぐため、1つめの方法に加えて移動体の電力残量も考慮して複製を配置する。さらに本論文では、提案方法の性能評価のためにシミュレーション実験を行い、その有効性を検証する。

## Data Replica Allocation Methods Considering Power Consumptions in Ad Hoc Networks

MASAKO SHINOHARA,<sup>†</sup> HIDEKI HAYASHI,<sup>†</sup> TAKAHIRO HARA<sup>†</sup>  
and SHOJIRO NISHIO<sup>†</sup>

In ad hoc networks, network division occurs frequently due to the movement of mobile hosts and this degrades data accessibility. To improve this problem, it is effective that each mobile host creates replicas of data items held by other mobile hosts. However, a mobile host holding data items which are frequently accessed by other mobile hosts has to transmit them many times, and thus, it consumes higher amounts of power than other mobile hosts. In this paper, we propose two replica allocation methods for not only improving data accessibility but also balancing power consumptions among mobile hosts. In the first method, each mobile host replicates data items considering their access frequencies and the numbers of the replicas in the network. In the other method, in addition to the first method, each mobile host allocates replicas considering the remaining batteries to avoid exhausting its batteries. We present simulation results to evaluate the performance of our proposed methods.

### 1. はじめに

近年、無線通信技術の発展と計算機の小型化にともない、ルータ機能を持つ移動体のみで一時的なネットワークを形成するアドホックネットワークへの関心が高まっている<sup>1),8),11)</sup>。アドホックネットワークでは、既存の通信インフラを必要とせずに、移動体どうして自律的にネットワークを構築できるため、緊急災害時の救助活動やセンサネットワークへの利用が期待されている。このような環境では、移動体どうしてデータ

を共有し、互いの持つデータにアクセスすることが多い。しかしアドホックネットワークでは、移動体の移動によりネットワークが頻繁に分断されるため、分断された部分ネットワーク内のデータにアクセスできず、データの利用率が低下してしまう。たとえば、図1の中央の無線リンクが切断された場合、左側の3台の移動体はデータ  $D_2$  に、右側の3台の移動体はデータ  $D_1$  にアクセスできなくなる。この問題を改善するため、移動体が他の移動体の持つデータの複製を作成することが有効であり、これまでにいくつかの複製配置方法が提案されている<sup>4)~6),10),15)~17)</sup>。

ここで、他の移動体が頻繁にアクセスするデータ(複製)を持つ移動体は、多くのデータを転送するため、他の移動体より消費電力が大きくなる。アドホッ

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻  
Department of Multimedia Engineering, Graduate  
School of Information Science and Technology, Osaka  
University

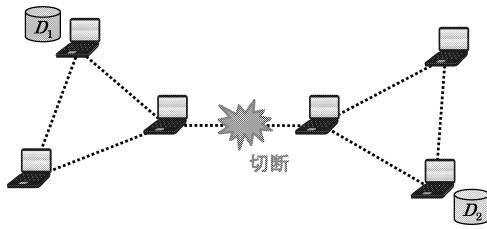


図 1 ネットワークの分断  
Fig. 1 Network division.

ネットワークでは、一般的に移動体の電力容量に制限があり、データ転送による消費電力が全体の大きな割合を占める場合が多い<sup>3)</sup>。したがって、このような移動体は、他の移動体より電力を早く使い果たして、ネットワークから退出してしまう。電力を使い果たした移動体が退出すると、その移動体の持つデータにアクセスできなくなるだけでなく、ネットワークが疎になる。このような状況では、移動体が他の移動体の持つデータにアクセスしにくくなり、ネットワーク全体のデータの利用率が低下してしまう。たとえば、緊急災害時の救助活動において、救助隊員が自身の持つ端末の電力を使い果たした場合、自身の作業状況や周辺の災害状況を保持できなくなる。また、これらの情報を他の救助隊員と共有できないため、各救助隊員の作業効率が低下すると考えられる。したがって、データの利用率を低下させないため、移動体間の消費電力をできる限り均一化し、すべての移動体の生存時間（電力を使い果たすまでの時間）をできるだけ長くすることは重要な研究課題である。一方、従来の複製配置方法では、移動体の消費電力を考慮していないため、移動体間の消費電力が不均一になる可能性がある。

そこで本論文では、データの利用率の向上と移動体間の消費電力の均一化の両立を目的として、消費電力を考慮した 2 つの複製配置方法を提案する。1 つめの方法では、特定の移動体へのデータアクセスの集中を防ぐため、自身と周囲の移動体のデータへのアクセス頻度とこれらの移動体の持つデータ（複製）の個数から、複製配置を決定する。2 つめの方法では、電力残量の少ない移動体が早く電力を使い果たすことを防ぐため、1 つめの方法に加えて移動体の電力残量も考慮して複製を配置する。さらに本論文では、提案方法の性能評価のためにシミュレーション実験を行い、その有効性を検証する。

以下では、2 章で想定環境について述べる。3 章で提案する複製配置方法について述べ、4 章でシミュレーション実験の結果を示す。5 章で関連研究を紹介し、最後に 6 章で本論文のまとめと今後の課題について

述べる。

## 2. 想定環境

本論文では、各移動体が自身および他の移動体の持つデータ（複製）にアクセスする環境を想定する。移動体がデータを要求するとき、自身のデータ領域にそのデータを持つ場合、即座にアクセスして、その要求は成功となる。移動体が要求したデータを持たない場合、何らかのデータアクセス方法を用いて相互接続している移動体の持つデータにアクセスする。ここで、相互接続している移動体とは、1 ホップ以上の無線リンクで相互に通信可能な移動体の集合を指す。また、データアクセス方法とは、移動体がデータにアクセスするときの手順を意味し、移動体が他の移動体の持つデータにアクセスするときの問合せパケットの伝搬方法や、アクセス対象のデータを持つ移動体までの経路選択方法を含む。なお、本論文で提案する複製配置方法は、データアクセス方法と独立に動作するため、データアクセス方法を特に限定しない。相互接続しているどの移動体も要求したデータを持たない場合、その要求は失敗となる。他の移動体の持つデータにアクセスした移動体は、その複製を自身のデータ領域に配置する。データ領域に空きがない場合、複製配置方法に従って、複製を置き換える。

移動体は外部から電力を供給できず、電力容量が限られているものとする。たとえば、緊急災害時の救助活動において、被災地の電力インフラが破綻した場合、救助隊員は携帯型端末に電力を補給できない状況が考えられる。

想定環境のその他の詳細を以下に示す。

- $m$  個の移動体（識別子： $M_1, M_2, \dots, M_m$ ）が存在し、各々が自由に移動する。本論文では、ネットワークに参加する移動体が既知であり、ネットワークを構築する前に各移動体に識別子が付与されているものと想定する。たとえば、緊急災害時の救助活動では、作業の開始前に救助隊員の持つ端末に識別子を付加して、作業開始時に救助隊員に端末を配布することが考えられる。救助活動のような特定グループ内の協調作業では、数十から数百人程度でグループを形成して作業を行う場合も多く、事前に端末に識別子を付加することは困難ではないと考えられる。
- $n$  個のデータ（識別子： $D_1, D_2, \dots, D_n$ ）が存在し、各々が特定の移動体にオリジナルデータとして保持されている。簡単化のため、すべてのデータのサイズは等しく、データ更新は発生しないも

のとする．

- 各移動体は，自身のオリジナルを格納するデータ領域以外に，データ  $C$  個分の複製を配置するデータ領域を持つ．
- 各移動体  $M_i$  は，自身の電力残量  $P_i$  を測定できる．

### 3. 消費電力を考慮した複製配置方法

本章では，本論文で提案する 2 つの複製配置方法について説明する．

#### 3.1 WEA (Weighted Expected Access) 法

WEA 法では，データの利用率を向上させるため，自身と周囲の移動体が頻繁にアクセスし，かつ自身と周囲の移動体間で保持している個数の少ないデータの複製を優先的に配置する．ここで，他の移動体の持つデータへのアクセスは，自身およびデータを中継する移動体がデータ転送を行うため，自身の持つデータへのアクセスより大きな電力を消費する．そこで，各移動体は自身の持つ各データ（複製）に対して，自身がアクセスする回数と周囲の移動体によりアクセスされる回数を別々に計算し，それぞれに重みを付加した値の総和を評価値とする．これにより，自身が頻繁にアクセスするデータを破棄しにくくなり，周囲の移動体から頻繁にアクセスされるデータの過剰な配置を防ぐ．以下では，移動体  $M_i$  が自身のデータ領域に保持していないデータ  $D_{new}$  にアクセスした後の動作について説明する．

- (1)  $M_i$  は，自身のデータ領域に空きがある場合，データ  $D_{new}$  の複製を配置し，処理を終了する．データ領域に空きがない場合，自身から  $h (\geq 1)$  ホップ内で相互接続している移動体にデータ情報問合せパケットをフラディングする．このパケットには， $M_i$  の識別子， $M_i$  の持つデータ（複製）と  $D_{new}$  の識別子のリストが含まれる．
- (2) 問合せパケットを受信した移動体  $M_k$  は，データ情報返信パケットを移動体  $M_i$  に送信する．このパケットには， $M_i$  と  $M_k$  の識別子，問合せパケットに含まれた各データへのアクセス頻度，および各データ（複製を含む）を保持しているか否かを示すフラグが含まれる．
- (3)  $M_i$  は， $h$  ホップ内の各移動体から返信パケットを受信すると，次式を用いて，自身の持つ各データ  $D_j$  を破棄して  $D_{new}$  を配置した場合のアクセス回数の変化量の評価値  $\Delta_{i,j \rightarrow new}$  を求める．

$$\Delta_{i,j \rightarrow new} = \alpha (a_{i,new} - a_{i,j}) + \beta \left( \frac{A_{i,new}}{C_{i,new} + 1} - \frac{A_{i,j}}{C_{i,j}} \right). \quad (1)$$

ここで， $a_{i,j}$  は移動体  $M_i$  のデータ  $D_j$  へのアクセス頻度， $A_{i,j}$  は  $D_j$  を持たない自身から  $h$  ホップ内の移動体の  $D_j$  へのアクセス頻度の総和， $C_{i,j}$  は  $h$  ホップ内の移動体間で持つ  $D_j$ （複製を含む）の個数， $\alpha$  と  $\beta$  はそれぞれの項目に対する重みを示す．つまり，式 (1) における右辺第 1 項の括弧内の式は移動体  $M_i$  によるデータ  $D_{new}$  と  $D_j$  へのアクセス回数の期待値，右辺第 2 項の括弧内の式は  $h$  ホップ内の移動体によるデータ  $D_{new}$  と  $D_j$  へのアクセス回数の期待値を示す． $h$  ホップ内で  $D_j$  を持つ移動体のアクセス頻度を式 (1) に含まないのは，これらの移動体は自身の持つデータにアクセスし，他の移動体の持つデータにはアクセスしないからである．また，右辺第 2 項の括弧内の式において，分母が " $C_{i,new} + 1$ " となるのは， $M_i$  が  $D_{new}$  を配置する場合， $h$  ホップ内の移動体間で持つ  $D_{new}$  の個数は  $C_{i,new}$  より 1 つ増えるからである．これは，次節の式 (2) でも同様である．

- (4)  $M_i$  は，自身の持つデータの中で， $\Delta_{i,j \rightarrow new}$  が正で最大となる（最も増加する） $D_j$  を破棄して  $D_{new}$  を配置する．ただし  $C_{i,j} = 1$  ( $M_i$  以外の移動体が  $D_j$  を保持していない) の場合， $D_j$  を破棄する対象としない．これは， $M_i$  が  $D_j$  を破棄した場合，周囲の移動体が  $D_j$  にアクセスできず，データの利用率が低下してしまうからである．また  $C_{i,new} = 0$  ( $h$  ホップ内のどの移動体も  $D_{new}$  を保持していない) の場合， $D_{new}$  を優先的に配置する．これは， $M_i$  が  $D_{new}$  を配置した場合，周囲の移動体が  $D_{new}$  にアクセスできるようになり，データの利用率を向上させられるからである．

WEA 法では，アクセス頻度の高いデータや自身と  $h$  ホップ内の移動体間で保持している個数の少ないデータが優先的に配置されるため，データの利用率が向上する．また，各データがアクセス頻度に応じてネットワーク全体に配置されるため，移動体間の消費電力が不均一になることを防ぐ．このとき，自身がアクセスする回数と周囲の移動体によりアクセスされる回数を別々に計算することで，データへのアクセス回数を詳細に予測する．これにより，自身は頻繁にアクセスしないが，周囲の移動体から頻繁にアクセスされるデータを配置することを防ぐ．

WEA 法では， $h$ ， $\alpha$ ，および  $\beta$  を調整することで

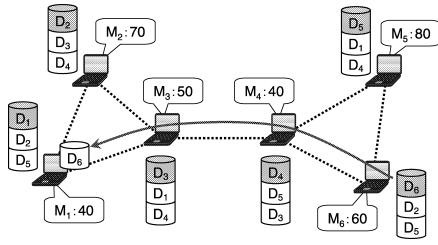


図 2 複製を再配置する前の状態

Fig. 2 A situation before replica relocation.

表 1 データへのアクセス頻度

Table 1 Access frequencies to data items.

データ \ 移動体	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$D_1$	0.5	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2
$D_2$	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
$D_3$	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.2
$D_4$	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1
$D_5$	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
$D_6$	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3

データの利用率と移動体の消費電力を調整できる．たとえば， $h$  を小さく設定した場合，狭い範囲内の移動体どうしてアクセス頻度の高いデータを共有するため，ネットワーク全体で見ると複製の重複が多くなる．その結果，移動体がアクセスできるデータの種類が減少し，データの利用率が低下する．一方，各移動体が近くの移動体の持つデータにアクセスできるようになるため，データ転送のホップ数が小さくなり，消費電力が減少する． $h$  を大きく設定した場合は，逆の特性を示す．また， $\alpha$  を  $\beta$  に対して大きく設定すると，自身が頻繁にアクセスするデータを優先的に配置して，移動体の消費電力を小さくできる．一方， $\alpha$  を  $\beta$  に対して小さく設定すると， $h$  ホップ内の移動体から頻繁にアクセスされるデータを優先的に配置して，移動体の消費電力は大きくなる反面，多種類のデータにアクセスでき，データの利用率が向上する．

図 2 を用いて，WEA 法の実行情例を説明する．この図は，移動体  $M_1$  が  $M_6$  の持つデータ  $D_6$  にアクセスしたことを示す．図中の吹き出しは，左が移動体の識別子，右が移動体の電力残量を示す．円柱はデータ領域を示し，灰色がオリジナル，白色が複製を表す．また， $\alpha = \beta = 1$  とする．各移動体の各データへのアクセス頻度が表 1 で表されるものとする．まず， $M_1$  は  $D_2$  と  $D_5$  に対して，式 (1) からアクセス回数の変化量の評価値  $\Delta_{1,2 \rightarrow 6}$  と  $\Delta_{1,5 \rightarrow 6}$  を計算する． $h = 1$  の（隣接移動体のみを考慮した）場合は，次のようになる．

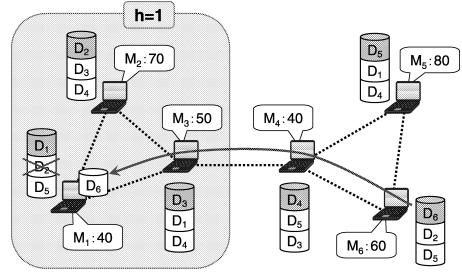


図 3 WEA 法 ( $h = 1$ ) における複製の再配置

Fig. 3 Replica relocation in WEA method ( $h = 1$ ).

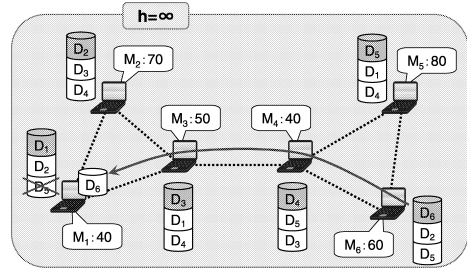


図 4 WEA 法 ( $h = \infty$ ) における複製の再配置

Fig. 4 Replica relocation in WEA method ( $h = \infty$ ).

$$\begin{aligned} \Delta_{1,2 \rightarrow 6} &= 1 \cdot (0.2 - 0.2) \\ &\quad + 1 \cdot \left( \frac{0.3}{0+1} - \frac{0.3}{2} \right) = 0.15 \\ \Delta_{1,5 \rightarrow 6} &= 1 \cdot (0.2 - 0.3) \\ &\quad + 1 \cdot \left( \frac{0.3}{0+1} - \frac{0.4}{1} \right) = -0.2 \end{aligned}$$

この結果， $M_1$  は  $D_2$  を破棄して  $D_6$  の複製を配置する（図 3）．一方， $h = \infty$  の（相互接続しているすべての移動体を考慮した）場合は次式ようになる．

$$\begin{aligned} \Delta_{1,2 \rightarrow 6} &= 1 \cdot (0.2 - 0.2) \\ &\quad + 1 \cdot \left( \frac{0.7}{1+1} - \frac{0.9}{3} \right) = 0.05 \\ \Delta_{1,5 \rightarrow 6} &= 1 \cdot (0.2 - 0.3) \\ &\quad + 1 \cdot \left( \frac{0.7}{1+1} - \frac{0.4}{4} \right) = 0.15 \end{aligned}$$

この結果， $M_1$  は  $D_5$  を破棄して  $D_6$  の複製を配置する（図 4）．

### 3.2 WEA+B (WEA + Battery) 法

WEA 法では，式 (1) の値が増加するデータの複製を優先的に配置するため，電力残量の少ない移動体が周囲の移動体から頻繁にアクセスされるデータの複製を配置し，電力残量を早く使い果たす可能性がある．ここでの電力残量の少ない移動体とは，ネットワークが機能してから時間が経過したときに他の移動体より電力残量が少ない移動体を指す．

そこで WEA+B 法では，式 (1) の第 2 項（周囲の移動体からのアクセス回数の変化量の期待値）の重みを電力残量に基づいて動的に変更する．以下では，移

動体  $M_i$  が自身のデータ領域に保持していないデータ  $D_{new}$  にアクセスした後の動作について説明する．

- (1) WEA 法の手順 (1) と (2) の動作を行う．
- (2) 返信パケットを受信した  $M_i$  は、次式を用いて、自身の持つ各データ  $D_j$  を破棄して  $D_{new}$  を配置する場合のアクセス回数の変化量の評価値  $\Delta_{i,j \rightarrow new}$  を求める．

$$\Delta_{i,j \rightarrow new} = \alpha (a_{i,new} - a_{i,j}) + \frac{P_i}{P_{init}} \cdot \beta \left( \frac{A_{i,new}}{C_{i,new} + 1} - \frac{A_{i,j}}{C_{i,j}} \right). \quad (2)$$

ここで、 $P_i$  は  $M_i$  の電力残量、 $P_{init}$  は移動体の初期電力を示す．

- (3)  $M_i$  は、WEA 法の手順 (4) の動作と同様に  $\Delta_{i,j \rightarrow new}$  が正で最大となる  $D_j$  を破棄して  $D_{new}$  を配置する．

WEA+B 法は、初期状態では移動体の電力残量が多いため、WEA 法の動作とほぼ等しくなる．時間の経過によって電力残量が減少すると、式 (2) の右辺第 2 項が小さくなり、これらの移動体は自身が頻繁にアクセスするデータを優先的に配置する．これにより、電力残量の少ない移動体が他の移動体からアクセスされにくくなり、他の移動体より極端に早く電力を使い果たすことを防ぐ．しかし、各移動体のアクセス特性が類似している場合、同じ種類のデータを重複して持つことになり、WEA 法に比べてデータの利用率が低下する可能性がある．

図 2 と表 1 を用いて、WEA+B 法の実行例を説明する．なお、すべての移動体の  $P_{init}$  を 100 とする．このとき、 $h = 1$  の場合、式 (2) から、 $\Delta_{1,2 \rightarrow 6} = 0.06$ 、 $\Delta_{1,5 \rightarrow 6} = -0.14$  となり、 $M_1$  は  $D_2$  を破棄して  $D_6$  の複製を配置する．

#### 4. 性能評価

本章では、提案方法の性能評価のために行ったシミュレーション実験の結果を示す．シミュレーション実験では、提案方法がデータの利用率を向上させつつ移動体間の消費電力を均一化することを示す．そこで、データの利用率の指標としてアクセス成功率、移動体間の消費電力の指標として経過時間による生存移動体数と最短生存時間を用い、提案方法をデータの置き換えアルゴリズムとして有名な LRU 法と比較した．

##### 4.1 シミュレーション環境

450 [m] × 450 [m] の 2 次元平面上に 50 個の移動体 ( $M_1, \dots, M_{50}$ ) が存在し、各移動体は 0 から 10 [m/秒] の範囲でランダムに決定した速度で、全方向に等確率に移動するものとした．各移動体の無線通信範囲

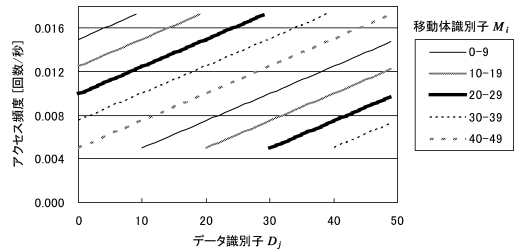


図 5 データへのアクセス頻度の特性  
Fig. 5 Access frequencies to data items.

は、半径  $R$  [m] の円とした．

ネットワーク内には、50 種類のデータ ( $D_1, \dots, D_{50}$ ) が存在し、 $D_j$  は  $M_j$  ( $j = 1, \dots, 50$ ) にオリジナルデータとして保持されるものとした．移動体  $M_i$  のデータ  $D_j$  へのアクセス頻度は、 $p_{i,j} = 0.005 \times [1 + 0.05\{(j + 40 - [i/10] \times 10) \bmod 50\}]$  [回数/秒] とした (図 5)．これは、10 個の移動体ごとに同じアクセス特性を持たせ、各データへのアクセス頻度に差を持たせたものである．たとえば、図 5 において、 $M_0$  から  $M_{10}$  の各移動体の  $D_{10}$  へのアクセス頻度は 0.005 [回数/秒] であり、 $M_0$  から  $M_{10}$  の各移動体は  $D_{10}$  に平均 200 秒に 1 回アクセスすることになる．本実験では、アクセス頻度が 1 以下であるため、この値をアクセス確率として、1 [秒] ごとに各移動体が各データにアクセス要求を発行するか否かを判断する．アクセス要求を発行する場合、移動体はアクセス要求をフラッシングし、要求したデータを持つ移動体に最短ホップ数でアクセスするものとした．各データのサイズは 1 [メガバイト] とし、各移動体は自身のデータ領域に最大  $C$  個の複製を作成するものとした．複製配置方法には、提案方法 (WEA 法と WEA+B 法) に加え、比較対象として LRU (Least Recently Used) 法を用いた．LRU は、仮想メモリやキャッシュの管理に使用されるページングアルゴリズムであり、メモリブロックをページアウトする際に、未使用の時間が最も長いブロックを選択する．本実験では LRU 法を、移動体のデータ領域におけるデータの置き換えアルゴリズムとして適用する．つまり、LRU 法では、移動体は、自身のデータ領域が満杯の場合、最も長い間アクセスされていないデータを削除して、新たにアクセスしたデータの複製を配置する．なお、WEA 法と WEA+B 法では、 $h$  を 1 と  $\infty$  に設定した場合について評価した．各移動体のバッテリー容量はすべて等しく 50,000 [単位エネルギー] とした．各移動体の電力残量は、初期状態では等しいものの、時間経過によって差が生じてくる．初期状態で各移動体に異なる電力残量を設定す

ることも考えられるが、本実験では環境の一般性を考慮して、このような想定とした。なお、この想定は、電力残量を考慮する WEA+B 法にとっては不利となる。また、移動体の電力はデータ転送のみによって消費され、データの送信と受信に必要な電力は 1 [単位エネルギー] とした。この想定は実環境においては必ずしも妥当ではないが、アクセス要求した移動体がデータを取得した後のデータ処理に関しては、すべての移動体で同等に電力を消費するため、データ処理のための消費電力を考慮したとしても、手法の優劣（結果の相対性）には影響しない。一方、データの転送については、文献 3) で計測された消費電力量の結果にあるように、データの送信は受信よりも多くの電力を消費することが一般的である。しかし、文献 9) にあるように、移動体の電力は、CPU による処理やハードディスクへのアクセスによっても電力を消費する。たとえば、本論文で想定しているようなある程度サイズの大きいデータを交換する場合、まず、アクセス要求を受信した移動体は、要求されたデータを持つ場合、ハードディスクにアクセスしてデータを読み出した後に転送する。次に、データを中継する移動体は、データの受信および送信を行う。そして、データを要求した移動体は、複製を配置するか否かの計算を CPU で処理し、配置する場合にはハードディスクにアクセスしてデータを格納する。ここで、データ転送による消費電力、CPU の処理やハードディスクへのアクセスによる消費電力は、インタフェースやデバイスの性能に依存する。以上の点を考慮すると、正確にデータ転送のための消費電力のモデル化を行うことは困難となる。また、特定の環境を想定して CPU 処理やハードディスクアクセスの消費電力を決定したとしても、得られた結果の一般性を主張することは困難である。そこで、本実験では簡単化のため、送信と受信に必要な電力を同等とし、移動体の電力はデータ転送のみによって消費されるものとした。また、本論文では、データのサイズが制御パケットのサイズに比べて非常に大きい環境を想定しているため、制御パケットの転送による消費電力はシステム全体の性能に影響を与えないと考え、無視した。たとえば、緊急災害時の救助活動において、救助隊員が、自身の作業状況や周辺の災害状況を、写真、音声、ビデオ画像などの形式で保持し、他の救助隊員とその情報を共有する場合が考えられる。ここで、提案方法で用いる制御パケットに含まれる項目の 1 つを 4 [バイト] と仮定すると、制御パケットのサイズは最大で数百バイト程度となる。一方、データのサイズは 1 [メガバイト] であるため、これに比べて

表 2 パラメータ設定  
Table 2 Parameter configuration.

パラメータ	値	
$h$	1, $\infty$	(1 ~ 10, $\infty$ )
$\beta/\alpha$	1	(0, 0.01 ~ 100, $\infty$ )
$R$	70	(10 ~ 150)
$C$	5	(0 ~ 49)

制御パケットのサイズは非常に小さいものとなり、制御パケットの転送による消費電力は無視できるくらい小さなものとなる。

表 2 に本実験で用いたパラメータを示す。各パラメータは基本的には定数値をとるが、そのパラメータの影響を調べる際には括弧内の範囲で変化させた。

以上のシミュレーション環境において、各移動体の初期位置をランダムに決定し、10 回のシミュレーション実験を行った。このとき、以下の値を評価値として調べ、10 回の平均値を実験結果とした。

- 生存移動体数  
電力を使い果たさずネットワークに参加している移動体の個数。
- 最短生存時間  
初めて電力を使い果たした移動体が現れるまでの時間。
- アクセス成功率  
アクセス要求の総数に対するアクセス成功回数の割合。

#### 4.2 経過時間の影響

まず、100,000 [秒] までにおける経過時間と生存移動体数の関係について調べた結果を図 6 に示す。また、この間において過去 10,000 [秒] ごとのアクセス成功率を調べた結果を図 7 に示す。これらの図において、横軸は経過時間を表している。縦軸は、図 6 では生存移動体数、図 7 ではアクセス成功率を表している。

図 6 の結果より、初めて電力を使い果たした移動体が現れるまでの時間（最短生存時間）は、提案方法が LRU 法に比べて長く、効果的に移動体間の消費電力を均一化していることが分かる。一方、シミュレーション終了時の生存移動体数は LRU 法が最も多い。これは、提案方法では、LRU に比べてデータの利用率が大幅に向上する（図 7）反面、移動体がデータを転送する機会が増え、移動体の消費電力が大きくなるからである。また、ある程度の移動体がネットワークから退出した状況では、各移動体の他の移動体の持つデータへのアクセスはほとんど成功せず、生存している移動体は自身の持つデータにのみアクセスするため、電力を消費せず、生存時間が長くなる。LRU 法では提

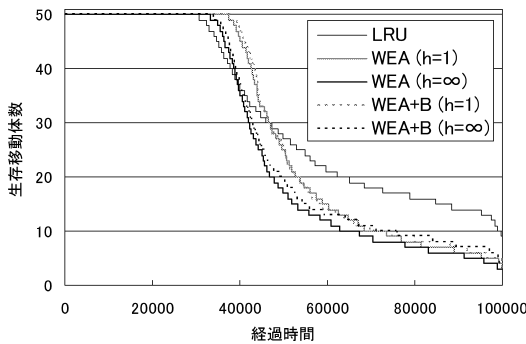


図 6 経過時間と生存移動体数

Fig. 6 Elapsed time and number of living mobile hosts.

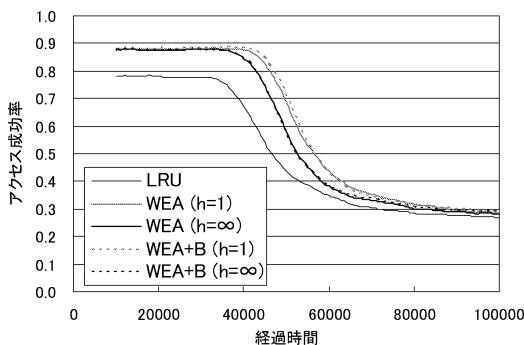


図 7 経過時間とアクセス成功率

Fig. 7 Elapsed time and data accessibility.

案方法に比べ、この傾向が早い段階から起こるため、シミュレーション終了時の生存移動体数が最も多くなる。しかし、このような状況は、すでにネットワークが破綻していると考えられる。また、 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、WEA+B 法の方が移動体の生存時間が長く、移動体間の消費電力が均一化できていることが分かる。これは、WEA+B 法では、電力残量の少なくなった移動体は自身が頻繁にアクセスするデータを優先的に配置して、他の移動体からアクセスされにくくなるからである。さらに、各提案方法の  $h=1$  と  $h=\infty$  の場合を比べると、 $h=1$  の方が時間の経過による生存移動体数の減少度が小さいことが分かる。これは、 $h=\infty$  の場合、各移動体からアクセスするデータを持つ移動体までのホップ数が大きくなるからである。

また、図 6 における最短生存時間に対して、各方法間の有意差検定<sup>7)</sup>を行った。10 回の試行における各方法の最短生存時間の平均と分散を表 3 に示す。まず、各方法間の母分散の相等性を検定した結果、すべての方法間において 95% の信頼度で母分散が相等となった。次に、各方法間において平均の差を検定し、

95% の信頼度における有意差の有無を調べた。その結果、 $h$  が同じ場合の各提案方法において有意差がなかったものの、LRU 法と各提案方法の間には有意差が認められた。 $h$  が同じ場合の各提案方法においては、10 回のシミュレーション実験の最短生存時間はつねに WEA+B 法の法が長かったことから、有意差は認められないものの WEA+B 法の方がやや最短生存時間を長くするものと考えられる。

図 7 の結果より、いずれの方法も時間が経過すると、アクセス成功率は少し高くなった後、低くなることが分かる。これは、シミュレーションの開始直後は移動体のデータ領域に複製が配置されておらず、データへのアクセスが成功しにくいためである。さらに時間が経過すると、退出した移動体の持つデータにアクセスできなくなるため、データの利用率が低下する。また、提案方法は LRU 法に比べて、つねにアクセス成功率が高いことが分かる。これは、アクセス頻度が高く、ネットワーク内の個数の少ないデータの複製を優先的に配置することの有効性を示している。各提案方法の  $h=1$  と  $h=\infty$  の場合を比べると、 $h=1$  の方がアクセス成功率が低下し始めるまでの時間が長いことが分かる。また、 $h=1$  の場合は WEA 法より WEA+B 法の方がこの時間が長いことが分かる。これは、移動体の生存時間が長くなることで、データの利用率を高く保ちながら移動体間の消費電力を均一化する効果を示している。一方、本実験の環境と異なり、大部分の移動体が同じアクセス特性を持つ環境では、移動体が同じ種類のデータを重複して保持してしまい、アクセス成功率が低下してしまう。したがって、このような環境では、アクセス成功率の面で WEA 法が優位になると考えられる。

#### 4.3 $h$ の影響

次に、 $h$  を変化させたときの提案方法の性能を調べた。ここでは、ネットワークが正常に機能している期間として、すべての移動体が生存している期間（最短生存時間）内でアクセス成功率を評価した。その結果を図 8、図 9 に示す。これらの図において、横軸は  $h$  を表している。縦軸は図 8 では最短生存時間、図 9 ではアクセス成功率を表している。また、両図において、 $h=10$  を超えた右端の値は、 $h=\infty$  の結果を示す。

図 8 の結果より、いずれの方法も  $h$  が大きくなると、最短生存時間は短くなった後、ほぼ一定になることが分かる。これは、図 6 の結果における考察と同様で、 $h$  が大きくなると、各移動体からアクセスするデータを持つ移動体までのホップ数が大きくなるからである。 $h$  がある程度大きくなると、データを持つ

表 3 最短生存時間の平均と分散  
Table 3 Averages and variances of minimum lifetime.

	LRU	WEA		WEA+B	
		$h = 1$	$h = \infty$	$h = 1$	$h = \infty$
平均	30,638.0	37,485.9	33,348.5	37,852.3	33,676.1
分散	1,684,155.0	1,239,761.7	1,841,595.3	981,025.6	1,949,066.9

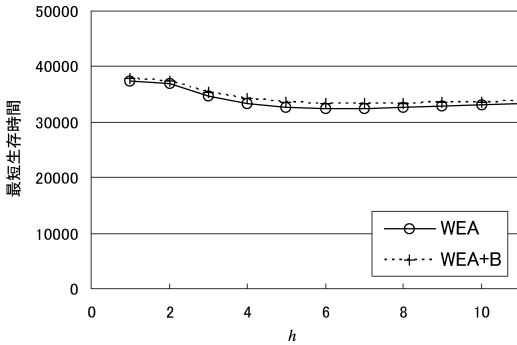


図 8  $h$  と最短生存時間

Fig. 8  $h$  and minimum lifetime.

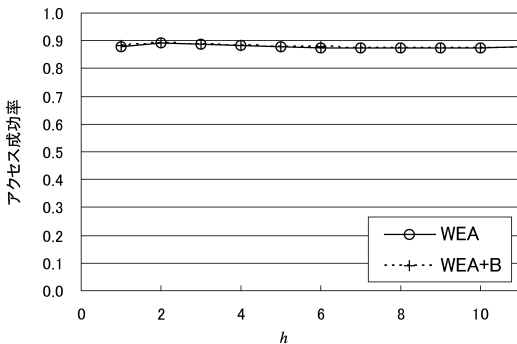


図 9  $h$  とアクセス成功率

Fig. 9  $h$  and data accessibility.

移動体までのホップ数がほぼ一定になるため、最短生存時間がほぼ一定になる。また、本実験では、各移動体は要求したデータを持つ移動体に最短ホップ数でアクセスするため、ネットワークの中心に存在する移動体は多くのデータを中継して消費電力が増加する。つまり、WEA+B 法を用いることにより、自身の複製が他の移動体にアクセスされにくくなったとしても、データの中継によって多くの電力を消費してしまう。このような移動体の生存時間は、複製配置方法に関係なく短くなるため、WEA 法と WEA+B 法はほぼ同じ結果を示す。ここで、文献 12) で提案したデータアクセス方法では、各移動体が何らかの複製配置方法を用いる環境を想定して、要求を発行した移動体とデータを持つ移動体間の経路を、経路長と経路上の移動体の電力残量を考慮して選択する。これにより、ネットワークの中心に存在する移動体が過剰にデータを中継

することを防ぎ、消費電力を抑制できる。したがって、このような消費電力を考慮したデータアクセス方法を併用することにより、複製配置による消費電力の影響が大きくなり、電力残量を考慮する WEA+B 法の優位性が、より顕著になるものと考えられる。さらに、WEA 法と WEA+B 法の結果がほぼ同じになる理由として、各移動体の初期のバッテリー容量が同じであることがあげられる。これは、移動体の電力残量が少なくなるまで、WEA 法と WEA+B 法の動作が等しくなるからである。各移動体の初期のバッテリー容量に差がある場合、WEA+B 法の方が、電力残量の少ない移動体から他の移動体から頻りにアクセスされるデータを持ちにくくなるため、WEA 法より最短生存時間が長くなると考えられる。

図 9 の結果より、 $h$  が大きくなると、アクセス成功率は少し高くなった後、低くなるのが分かる。これは、 $h$  が大きくなると、広範囲の移動体間でデータを共有し、各移動体が多種類のデータにアクセスできるからである。しかし、 $h$  がさらに大きくなると、距離 (ホップ数) の大きい接続性の低い移動体から頻りにアクセスされるデータを配置してしまうためである。また、WEA 法と WEA+B 法はほぼ同じ結果を示す。これは、図 8 の結果における考察と同様である。

#### 4.4 $\alpha$ と $\beta$ の影響

次に  $\alpha$  と  $\beta$  を変化させたときの提案方法の性能を調べた。提案方法の性能は  $\alpha$  と  $\beta$  の比で決まるため、 $\beta/\alpha$  を変化させた。4.3 節と同様に、最短生存時間内で評価した。その結果を図 10、図 11 に示す。これらの図において、横軸は  $\beta/\alpha$  を表している。縦軸は図 10 では最短生存時間、図 11 ではアクセス成功率を表している。また、両図において、 $\beta/\alpha = 0.01$  より小さい左端の値は  $\beta/\alpha = 0 (\beta = 0)$ 、 $\beta/\alpha = 100$  より大きな右端の値は  $\beta/\alpha = \infty (\alpha = 0)$  の結果を示す。

図 10 の結果より、どちらの方法も  $\beta/\alpha$  が大きくなると、最短生存時間は長くなった後、短くなるのが分かる。 $\beta/\alpha$  が小さい場合、移動体は自身が頻りにアクセスするデータを優先的に配置するため、それ以外のデータまでのホップ数が大きくなる。一方、 $\beta/\alpha$  が大きい場合、周囲の移動体から頻りにアクセスされるデータを優先的に配置するため、自身が頻りにアクセ



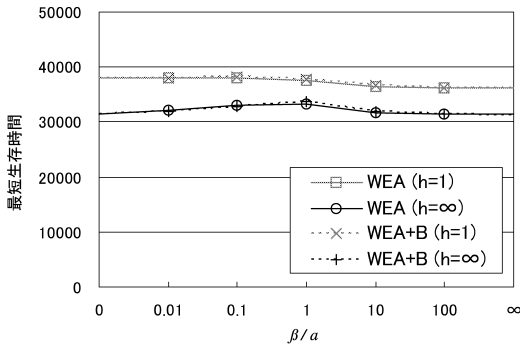
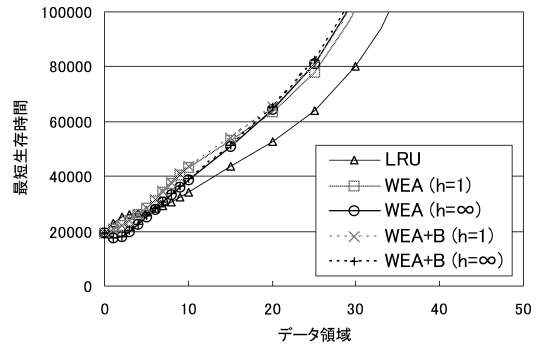
図 10  $\beta/\alpha$  と最短生存時間Fig. 10  $\beta/\alpha$  and minimum lifetime.

図 12 データ領域と最短生存時間

Fig. 12 Data space and minimum lifetime.

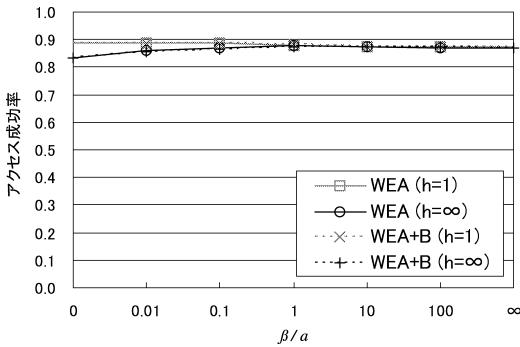
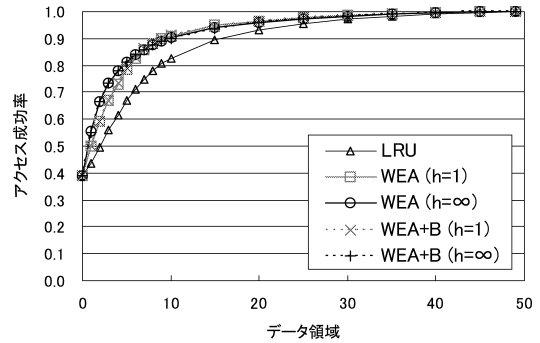
図 11  $\beta/\alpha$  とアクセス成功率Fig. 11  $\beta/\alpha$  and data accessibility.

図 13 データ領域とアクセス成功率

Fig. 13 Data space and data accessibility.

するデータまでのホップ数が大きくなることに加え、他の移動体からのアクセスでデータを転送する機会が増える。また、 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、ほぼ同じ結果を示す。これは、図 8 の結果における考察と同様である。さらに、各提案方法の  $h = 1$  と  $h = \infty$  の場合を比べると、つねに  $h = 1$  の方が最短生存時間が長いことが分かる。これは、図 6 の結果における考察と同様である。

図 11 の結果より、 $\beta/\alpha$  が大きくなるとアクセス成功率は、 $h = 1$  の場合は低くなり、 $h = \infty$  の場合は少し高くなった後、低くなること分かる。これは、 $\beta/\alpha$  が大きくなると、周囲の移動体から頻りにアクセスされるデータを優先的に配置するが、 $h = 1$  の場合は隣接移動体のみを考慮するため、それらとの切断や新たな移動体と接続が生じた際に、複製配置が効果的でなくなるからである。一方  $h = \infty$  の場合、 $\beta/\alpha$  が小さいときは自身があまりアクセスしないデータにアクセスしにくく、 $\beta/\alpha$  が大きいときは自身が頻りにアクセスするデータにアクセスしにくい。また、 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、ほぼ同じ結果を示す。さらに、各提案方法の  $h = 1$  と  $h = \infty$  の場合を比べるとつねに  $h = 1$  の方がアクセス成功率が

高いことが分かる。これらは、図 10 の結果における考察と同様である。

#### 4.5 データ領域の影響

次にデータ領域  $C$  を変化させたときの提案方法の性能を調べた。4.3 節と同様に、最短生存時間内で評価した。その結果を図 12、図 13 に示す。これらの図において、横軸はデータ領域のサイズ  $C$  を表している。縦軸は図 12 では最短生存時間、図 13 ではアクセス成功率を表している。

図 12 の結果より、データ領域が大きくなるといずれの方法も最短生存時間が長くなること分かる。これは、各移動体が自身の持つデータにアクセスできる機会が増えるからである。また、提案方法を LRU 法と比べると、データ領域が小さい範囲では LRU 法の方が長く、データ領域が大きい範囲では提案方法の方が長くなる。これは、提案方法では、データ領域が小さくても、各移動体が多種類のデータにアクセスできる反面、多くのデータを転送するからである。また、提案方法は、各移動体がアクセス頻度の高いデータを多く配置できるため、データ領域が大きくなると、他の移動体の持つデータにアクセスする機会が減る。データ領域が非常に大きくなると、いずれの方法もほ

ほぼ同じ結果になる。また、 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、ほぼ同じ結果を示す。これは、図 8 の結果における考察と同様である。

図 13 の結果より、データ領域が大きくなると、いずれの方法もアクセス成功率が高くなるのが分かる。これは、自明の結果である。また、提案方法は LRU 法よりアクセス成功率が高いことが分かる。これは、図 7 の結果における考察と同様である。 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、ほぼ同じ結果を示す。これは、図 8 の結果における考察と同様である。さらに、 $h = 1$  と  $h = \infty$  の場合を比べると、データ領域が小さい範囲では  $h = \infty$  の方が高く、データ領域が大きい範囲では  $h = 1$  の方が高いことが分かる。これは、データ領域が大きいとき、隣接移動体のみを考慮する方が効果的に複製を配置できることを示す。

#### 4.6 無線通信範囲の影響

最後に無線通信範囲  $R$  を変化させたときの提案方法の性能を調べた。4.3 節と同様に、最短生存時間内で評価した。その結果を図 14、図 15 に示す。これらの図において、横軸は無線通信範囲  $R$  を表している。縦軸は図 14 では最短生存時間、図 15 ではアクセス成功率を表している。

図 14 の結果より、いずれの方法も無線通信範囲が非常に小さい場合、最短生存時間が非常に大きくなる。これは、移動体が他の移動体と接続しにくくなり、他の移動体の持つデータにアクセスできなくなるからである。一方、無線通信範囲が大きくなると最短生存時間は短くなる。これは、隣接する移動体の数が増加し、データの中継による消費電力が多くなるからである。無線通信範囲が非常に大きくなると、最短生存時間はさらに短くなる。本実験では、要求したデータを持つ移動体が複数存在し、それらまでのホップ数が同じ場合、識別子の小さい移動体にアクセスしていた。そのため、すべての移動体どうしがほぼ 1 ホップで接続している状況では、識別子の小さい移動体にデータアクセスが集中するからである。また、提案方法を LRU 法と比べると、無線通信範囲が小さい範囲では LRU 法の方が長く、大きい範囲では提案方法の方が長くなる。これは、無線通信範囲が小さい場合、LRU 法ではデータアクセスの機会が減り、生存時間が長くなるからである。また、 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、ほぼ同じ結果を示す。これは、図 8 の結果における考察と同様である。さらに、 $h = 1$  と  $h = \infty$  の場合を比べるとつねに  $h = 1$  の方が長いことが分かる。これは、図 6 の結果における考察と同様である。

図 15 の結果より、無線通信範囲が大きくなると、

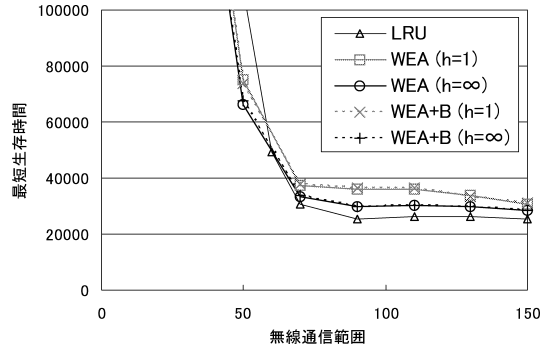


図 14 無線通信範囲と最短生存時間

Fig. 14 Radio communication range and minimum lifetime.

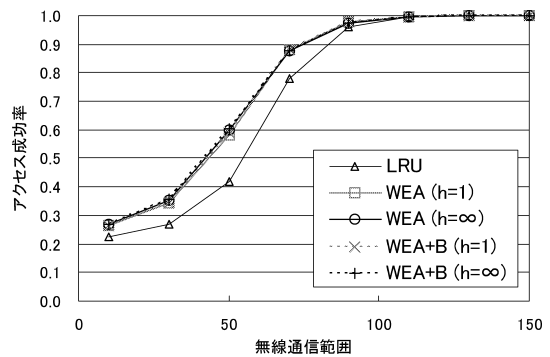


図 15 無線通信範囲とアクセス成功率

Fig. 15 Radio communication range and data accessibility.

いずれの方法もアクセス成功率が高くなるのが分かる。これは、各移動体が他の移動体と接続しやすくなり、多種類のデータにアクセスできるからである。また、提案方法は LRU 法よりアクセス成功率が高いことが分かる。これは、図 7 の結果における考察と同様である。 $h$  が同じ場合の WEA 法と WEA+B 法は、ほぼ同じ結果を示す。また、 $h = 1$  と  $h = \infty$  の場合も、ほぼ同じ結果を示す。これらは、図 14 の結果における考察と同様である。

## 5. 関連研究

近年、アドホックネットワークにおける複製配置に関する研究がさかんに行われている。

文献 4) では、移動体の各データへのアクセス頻度とネットワークポロジを考慮した複製配置方式を提案している。これらの方式は、移動体が多種類のデータにアクセスできるように、隣接移動体間や安定度の高いグループの移動体間でデータの重複を解消して、データの利用率を向上させる。また文献 5), 6), 16) では文献 4) の方式を拡張し、データ間の相関性、デー

タ更新の発生、データサイズを考慮した複製配置方式をそれぞれ提案している。文献 4)~6)、16) の方式は、定期的に複製を再配置するため、本研究のアプローチとは異なる。

文献 10) では、配置する複製の数を抑制することで複製配置のコストを削減しながら、データ転送による遅延を軽減する方法を提案している。また文献 15) では、ネットワークの分断時間を予測し、分断前に移動体間で複製を配置する方式を提案している。文献 10)、15) の方式は、個々のデータのアクセス頻度を考慮していない点で本研究とは異なる。また文献 17) では、アクセス遅延の軽減とデータ転送によるトラフィックの削減を実現するキャッシング方式を提案している。この方式は、固定ネットワーク上の端末が存在する環境を想定しており、移動体のみで構築されるネットワークを想定している本研究とは異なる。

以上の複製配置方式は、各移動体がホップ数の小さい近くの移動体にアクセスできるため、結果的に移動体の消費電力を小さくするものと考えられる。しかし、移動体の電力残量までは考慮しておらず、1 章で述べた問題を十分に解決しているとはいえない。

一方、ルーティングに関する研究では、消費電力を考慮して、移動体の生存時間を長くする方法がいくつか提案されている。

文献 2) では、移動体が経路要求を転送するとき、自身の電力残量に基づいて転送開始までの時間を決定することで、電力残量の多い移動体からなる経路を優先的に選択する方法を提案している。また文献 13)、14) では、移動体が他の移動体（宛先）にデータを送信するとき、ホップ数だけでなく経路上の移動体の電力残量を考慮して、宛先までの経路を決定する方法を提案している。これらの方法は、ネットワーク内から 1 つの宛先までの経路を発見する方法であるが、本研究におけるデータアクセス時の経路選択に利用できると考えられる。今後、本研究で提案した複製配置方法との併用を検討する予定である。

## 6. ま と め

本論文では、データの利用率の向上と移動体間の消費電力の均一化を目的として、消費電力を考慮した 2 つの複製配置方法を提案した。1 つめの方法では、自身と周囲の移動体のデータへのアクセス頻度とこれらの移動体の持つデータ（複製）の個数から、自身の持つデータ（複製）へのアクセス回数の評価値を計算して複製を配置する。2 つめの方法では、電力残量の少ない移動体が早く電力を使い果たすことを防ぐため、

1 つめの方法に加えて移動体の電力残量も考慮して複製を配置する。

シミュレーション実験の結果より、提案方法は LRU 法よりデータの利用率を向上させつつ、初めて電力を使い果たした移動体が見れるまでの時間を長くすることを確認した。また、WEA+B 法では、移動体の電力残量が減少すると、自身が頻繁にアクセスするデータを優先的に配置することで、時間の経過による生存移動体数の減少度合いを小さくできることを確認した。したがって、本実験の環境では、アクセス成功率と消費電力の両面で WEA+B 法の方が優位となる。また、文献 12) で提案したデータアクセス方法を併用した場合や、各移動体の初期のバッテリー容量に差がある場合には、WEA+B 法の優位性が、より顕著になるものと考えられる。

本論文では、提案方法のパラメータ  $h$ ,  $\alpha$ , および  $\beta$  を固定のものとした。提案方法の性能はこれらの値で決定するため、今後は環境に適応した値の決定方法について検討する予定である。また、本論文では各移動体が要求したデータを最短ホップ数でアクセスすることを想定した。このような環境でシミュレーション実験したところ、ネットワークの中心に存在する移動体は多くのデータを中継することになり、WEA 法と WEA+B 法がほぼ同じ結果を示した。今後は、文献 12) の提案方法を参考にしたデータアクセス方法と、本論文で提案した複製配置方法を併用することにより、移動体間の消費電力をさらに均一化する方法について検討する予定である。

本論文では、移動体の退出がほぼ許されない環境を想定し、すべての移動体の生存時間をできるだけ長くすることを目的とした。一方、ある程度の移動体の退出が許容できる環境では、退出しそうな移動体の持つデータを他の移動体に配置することで、データの利用率の低下を防ぐことが有効と考えられる。たとえば、センサネットワークにおいて、観測地域に大量の端末を設置し、各端末が周辺の環境情報を収集、保持する場合、ネットワークから退出した端末の周囲の端末が退出した端末周辺の情報を保持することは有効である。したがって、今後は、ある程度の移動体の退出が許容できる環境において、データの利用率の低下を防ぐため、退出しそうな移動体の持つデータを他の移動体に配置する方法などを検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、文部科学省若手研究 (A ¥ 16680005), および基盤研究 (A ¥ 17200006) の研究助成によるものであ

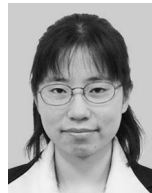
る．ここに記して謝意を表す．

### 参 考 文 献

- 1) Broch, J., Maltz, D.A., Johnson, D.B., Hu, Y.-C. and Jetcheva, J.: A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols, *Proc. IEEE/ACM MOBI-COM'98*, pp.85-97 (1998).
- 2) Du, X.: A Simulation Study of An Energy Efficient Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, *Proc. IEEE ANSS'04*, pp.125-131 (2004).
- 3) Feeney, L. and Nilsson, M.: Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment, *Proc. IEEE INFOCOM'01*, pp.1548-1557 (2001).
- 4) 原 隆浩：アドホックネットワークにおけるデータ利用性向上のための複製配置，電子情報通信学会和文論文誌 B，Vol.J84-B, No.3, pp.632-642 (2001).
- 5) Hara, T., Murakami, N. and Nishio, S.: Replica Allocation for Correlated Data Items in Ad-Hoc Sensor Networks, *ACM SIGMOD Record*, Vol.33, No.1, pp.38-43 (2004).
- 6) 林 秀樹，原 隆浩，西尾章治郎：アドホックネットワークにおけるデータ更新間隔を考慮した複製配置，情報処理学会論文誌，Vol.44, No.12, pp.2898-2911 (2003).
- 7) 稲垣宣男，山根芳和，吉田光雄：統計学入門，第14版，裳華房 (2001).
- 8) Johnson, D.B.: Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts, *Proc. IEEE WMCSA'94*, pp.158-163 (1994).
- 9) Mahesri, A. and Vardhan, V.: Power Consumption Breakdown on Modern Laptop, *Proc. 4th Workshop on Power-Aware Computing Systems* (2004).
- 10) Nuggehalli, P., Srinivasan, V. and Chiasserini, C.-F.: Energy-Efficient Caching Strategies in Ad Hoc Wireless Networks, *Proc. MobiHoc'03*, pp.25-34 (2003).
- 11) Perkins, C.E. and Royer, E.M.: Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing, *Proc. IEEE WMCSA'99*, pp.90-100 (1999).
- 12) 篠原昌子，林 秀樹，原 隆浩，西尾章治郎：アドホックネットワークにおける消費電力を考慮したデータアクセスについて，情報処理学会研究報告，Vol.2005, No.6, pp.111-118 (2005).
- 13) Singh, S., Woo, M. and Raghavendra, C.S.: Power-Aware Routing in Mobile Ad hoc Networks, *Proc. MobiCom'98*, pp.181-190 (1998).
- 14) Toh, C.-K.: Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks, *IEEE Communications*, Vol.39, No.6, pp.138-147 (2001).
- 15) Wang, K. and Li, B.: Efficient and Guaranteed Service Coverage in Partitionable Mobile Ad-hoc Networks, *Proc. IEEE INFOCOM'02* (2002).
- 16) Yin, L. and Cao, G.: Balancing the Tradeoffs between Data Accessibility and Query Delay in Ad Hoc Networks, *Proc. SRDS'04*, pp.289-298 (2004).
- 17) Yin, L. and Cao, G.: Supporting Cooperative Caching in Ad Hoc Networks, *Proc. IEEE INFOCOM'04* (2004).

(平成 17 年 5 月 31 日受付)

(平成 17 年 11 月 1 日採録)



篠原 昌子

2004 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業．現在，同大学院情報科学研究科博士前期課程在学中．モバイル環境における消費電力を考慮したデータ管理に興味を持つ．



林 秀樹 (学生会員)

2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業．2004 年同大学院情報科学研究科博士前期課程修了．現在，同大学院情報科学研究科博士後期課程在学中．モバイル環境におけるデータ管理に興味を持つ．日本データベース学会の学生会員．



原 隆浩 (正会員)

1995年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1997年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学院工学研究科博士後期課程中退後、同大学院工学研究科情報シ

ステム工学専攻助手、2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手、2004年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり、現在に至る。工学博士。1996年本学会山下記念研究賞受賞。2000年電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。データベースシステム、分散処理に興味を持つ。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 日本データベース学会の各会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975年京都大学工学部数理工学科卒業。1980年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工

学部および情報処理教育センター助教授、大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て、2002年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり、現在に至る。2000年より大阪大学サイバーメディアセンター長、2003年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任。この間、カナダ・ウォータールー大学、ビクトリア大学客員。データベース、マルチメディアシステムの研究に従事。現在、Data & Knowledge Engineering等の論文誌編集委員。本会理事を歴任。電子情報通信学会フェローを含め、ACM, IEEE等、8学会の会員。