

# アドホックネットワークにおける消費電力を考慮した複製配置方法について

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

<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

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: †{sinohara.masako,hideki,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし アドホックネットワークでは、データの利用率を向上させるため、データの複製を作成することが有効である。このとき、他の移動体が頻繁にアクセスするデータをもつ移動体は、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。また、移動体が電力を使い果たしてネットワークから退出した場合、その移動体のもつデータにアクセスできなくなる。そこで本稿では、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、二つの複製配置方法を提案する。一つめの方法では、各移動体が、データへのアクセス頻度とネットワーク内に存在する各データ（複製）の個数を考慮して複製を配置する。二つめの方法では、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、一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。

キーワード アドホックネットワーク、複製配置、データアクセス、消費電力

## On Replica Allocation Methods Considering Power Consumption in Ad Hoc Networks

Masako SHINOHARA<sup>†</sup>, Hideki HAYASHI<sup>†</sup>, Takahiro HARA<sup>†</sup>, and Shojiro NISHIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Multimedia Eng., Grad. Sch. of Information Science and Technology, Osaka Univ.

1-5 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, 565-0871, Japan

E-mail: †{sinohara.masako,hideki,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

**Abstract** In ad hoc networks, it is effective that each mobile host creates replicas of data items for improving data accessibility. A mobile host that holds data items frequently accessed by others has to transmit them many times, and thus, it consumes higher amounts of power than others. Moreover, if a mobile host exhausts its battery and leave from the networks, other mobile hosts cannot access data items held by the mobile host. In this paper, we propose two replica allocation methods for improving data accessibility and balancing power consumptions among mobile hosts. In the first method, each mobile host allocates replicas considering the access frequency and the number of replicas of each data item in the network. In the other method, to avoid mobile hosts to exhaust their batteries, each mobile host allocates replicas considering the remaining batteries of mobile hosts as well as the access frequency and the number of replicas.

**Key words** Ad hoc network, Replica allocation, Data access, Power consumption

### 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伴い、時間や場所に関係なくネットワークに接続できる移動体計算環境が普及しつつある。特に、ルータ機能をも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。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、各移動体が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での利用

が期待されている。[1],[3],[5]。このような環境では、移動体同士でデータを共有し、互いのも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、移動体の移動によってネットワークが分断されるため、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。例えば、図1の中央の2台の移動体間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。ここで、データの利用率の低下を防ぐため、移動体が他の移動体のもつ

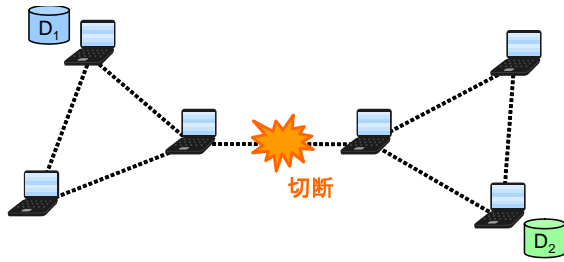


図1 ネットワークの分断  
Fig. 1 Network division.

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式が提案されている [2], [4], [7] ~ [9] .

ここで、他の移動体が頻繁にアクセスするデータ（複製）をもつ移動体や、ネットワーク内に保持している個数の少ないデータ（複製）をもつ移動体は、データ転送の機会が多くなり、消費電力が大きくなる．一般的にアドホックネットワークでは、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．したがって、データ転送を多く行う移動体は、他の移動体より自身の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．この場合、他の移動体はこの移動体をも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と考えられる．図2は、右下の移動体のみがデータ  $D_1$  を保持し、他の移動体が頻繁にアクセスしている様子を示す．この場合、右下の移動体が電力を使い果たし、ネットワークから退出すると、他の移動体は  $D_1$  にアクセスできなくなる．そのため、移動体間の消費電力をできる限り均一化し、移動体の生存時間を長くすることは重要な課題である．

そこで本稿では、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、移動体の消費電力を考慮した二つの複製配置方法を提案する．一つめの方法では、特定の移動体へのデータアクセスの集中を防ぐため、各移動体がデータへのアクセス頻度とネットワーク内に存在する各データ（複製）の個数を考慮して複製を配置する．二つめの方法では、電力残量の少ない移動体が電力を早く使い果たすことを防ぐため、一つめの方法に加えて移動体の電力残量を考慮して複製を配置する．

以下では、2. で想定環境について述べる．3. で提案する複製配置方法について述べ、4. で提案方法の性能を評価するためにに行ったシミュレーション実験の結果を示す．5. で関連研究について紹介し、本研究との比較を行う．最後に6. で本稿のまとめと今後の課題について述べる．

## 2. 想定環境

本稿では、各移動体が自身または他の移動体のもつデータ（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もつ場合、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もたない場合、相互接続している移動体のも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．相

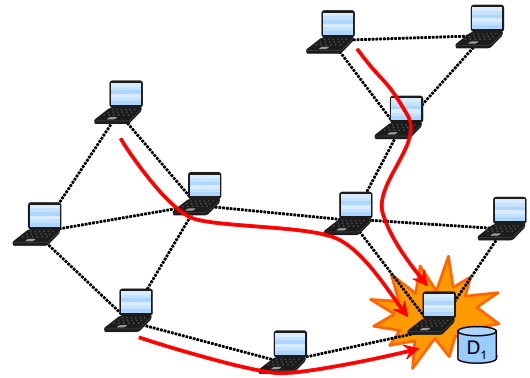


図2 アクセス集中による電力残量の低下  
Fig. 2 Decrease of remaining battery by skewed data accesses.

互接続しているどの移動体も要求したデータをもたない場合、その要求は失敗となる．なお、本稿で提案する複製配置方法は、データアクセス方法とは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．各移動体はアクセスしたデータの複製を自身のデータ領域に配置する．ここでデータ領域に空きがない場合、複製配置方式に従って、データの置き換えが発生する．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．例えば、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ていた場合、救助隊員は携帯型端末に電力を補給できない．計算処理による消費電力は無視できるくらい小さく、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する．

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．
- $n$  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もつ．
- 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

提案方法では、移動体が他の移動体のもつデータ（複製）にアクセスしたとき、その複製を自身のデータ領域に配置する．各移動体が頻繁にアクセスするデータを優先的に配置すると、自身のもつデータへのアクセスが多くなり、消費電力が減少する．しかし、類似したアクセス特性をもつ移動体同士は同じ種類のデータの複製を配置してしまい、データの利用率が低下してしまう．そこで、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、二つの複製配置方法を提案する．

### 3.1 Expected Access (EA) 法

EA 法では、データの利用率を向上させるため、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．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  $n(\geq 1)$  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ッディングする．このパケットには、 $M_i$  の識別子、 $M_i$  が保持しているデータ（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  $M_{i'}$  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  $M_{i'}$  の識別子に加え、問合せパケットに含まれる各データへのアクセス頻度と、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、 $n$  ホップ内の各移動体から返信パケットを受信すると、次の式を用いて、自身が保持しているデータ  $D_{j'}$  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期待値  $\Delta_{i,j' \rightarrow new}$  を求める．

$$\Delta_{i,j' \rightarrow new} = \frac{A_{i,new}}{C_{i,new} + 1} - \frac{A_{i,j'}}{C_{i,j'}} \quad (1)$$

ここで、 $A_{i,j}$  は移動体  $M_i$  と  $n$  ホップ内の移動体のデータ  $D_j$  へのアクセス頻度の総和、 $C_{i,j}$  はこれらの移動体間で保持されているデータ  $D_j$ （複製を含む）の個数を示す．つまり、式(1)の右辺の各項目は、移動体  $M_i$  と  $n$  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ため、 $\Delta_{i,j' \rightarrow new}$  はデータ  $D_{j'}$  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期待値を示す．

(4)  $M_i$  は、自身が保持しているデータの中で、 $\Delta_{i,j' \rightarrow new}$  が正で最大となる  $D_{j'}$  を破棄して  $D_{new}$  を配置する．つまり、アクセス回数の期待値が最も増加するように破棄するデータ  $D_{j'}$  を選択する．ただし  $C_{i,j'} = 1$  の場合 ( $M_i$  以外の移動体が  $D_{j'}$  を保持していない場合)、 $D_{j'}$  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  $C_{i,new} = 0$  の場合 ( $n$  ホップ内のどの移動体も  $D_{new}$  を保持していない場合)、 $D_{new}$  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できるからである．

EA 法では、アクセス頻度の高いデータや自身と  $n$  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ものと考えられる．また、各データがアクセス頻度に応じてネットワーク内で均一に配置されるため、移動体間の消費電力を均一化できると考えられる．EA 法では、 $n$  ホップ内の移動体間で分散してデータを配置するため、 $n$  を調整することでデータの利用率と移動体の消費電力の間にトレードオフが発生すると考えられる．例えば、 $n$  を小さく設定した場合、狭い範囲内の移動体同士で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、各移動体のアクセス可能なデータ数が減少し、データの利用率が低下すると考えられる．一方、各移動体が近くの移動体のも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

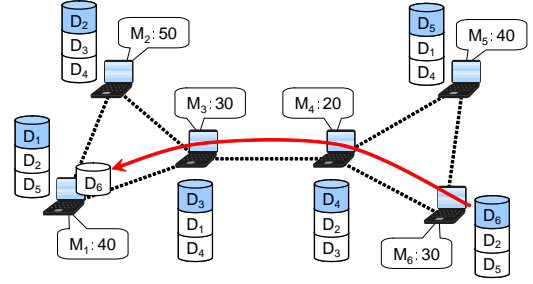


図3 EA 法で複製を再配置する前の状態

Fig. 3 A situation before relocating replica by EA method.

表1 データアクセス頻度

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	0.2	0.3	0.2
$D_2$	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4
$D_3$	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	0.1	0.1	0.2	0.2
$D_6$	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3

力が減少すると考えられる．

図3を用いてEA法の実行例を説明する．この図は移動体  $M_1$  が  $M_6$  のもつデータ  $D_6$  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、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、 $M_1$  は自身のもつデータ  $D_2$  と  $D_5$  に対して、式(1)からアクセス回数の変化量の期待値  $\Delta_{1,2 \rightarrow 6}$ 、 $\Delta_{1,5 \rightarrow 6}$  を計算する． $n = 1$  の場合（隣接移動体の情報のみを考慮した場合）は次式ようになる．

$$\Delta_{1,2 \rightarrow 6} = \frac{0.5}{0+1} - \frac{0.8}{2} = 0.1$$

$$\Delta_{1,5 \rightarrow 6} = \frac{0.5}{0+1} - \frac{0.6}{1} = -0.1$$

したがって、 $M_1$  は  $D_2$  を破棄して  $D_6$  の複製を配置する（図4）．一方、 $n = \infty$  の場合（相互接続しているすべての移動体の情報を考慮した場合）は次式ようになる．

$$\Delta_{1,2 \rightarrow 6} = \frac{1.2}{1+1} - \frac{1.8}{4} = 0.15$$

$$\Delta_{1,5 \rightarrow 6} = \frac{1.2}{1+1} - \frac{1.1}{3} = 0.23$$

したがって、 $M_1$  は  $D_5$  を破棄して  $D_6$  の複製を配置する（図5）．

### 3.2 Expected Access + Battery (EA+B) 法

EA 法では、アクセス回数の期待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りにアクセスされるデータの複製を配置した場合、電力残量が早く低下する．

そこでEA+B法では、移動体がアクセス回数の変化量の期待値だけでなく、自身の電力残量も考慮して複製を配置する．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

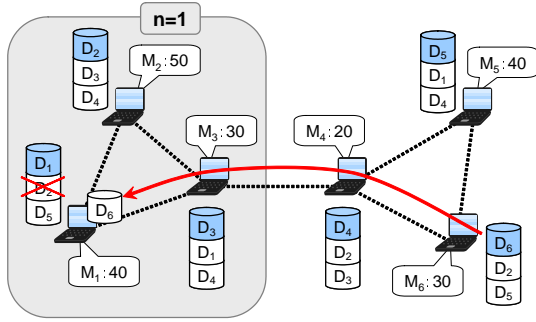


図4 EA法 ( $n = 1$ ) で複製を再配置した後の状態  
Fig. 4 Replica relocation by EA method ( $n = 1$ ).

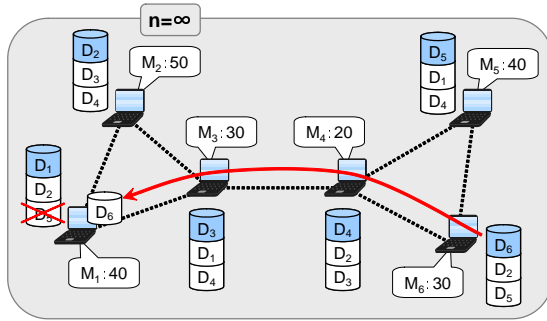


図5 EA法 ( $n = \infty$ ) で複製を再配置した後の状態  
Fig. 5 Replica relocation by EA method ( $n = \infty$ ).

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．そうでない場合、 $n$  ホップ内の移動体にデータ情報問合せパケットをフラッディングする．このパケットを受信した各移動体  $M_{i'}$  は、データ情報返信パケットを  $M_i$  に送信する．

(2)  $M_i$  は、式(1)を用いて自身が保持しているデータ  $D_{j'}$  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期待値  $\Delta_{i,j' \rightarrow new}$  を求める．

(3)  $M_i$  は、自身の電力残量  $P_i$  が閾値  $\sigma$  ( $\sigma$  は固定値) 以上の場合、EA法と同様に  $\Delta_{i,j' \rightarrow new}$  が正で最大となる  $D_{j'}$  を破棄して  $D_{new}$  を配置する．一方、 $P_i$  が  $\sigma$  未満の場合、 $\Delta_{i,j' \rightarrow new}$  が負で最小となる  $D_{j'}$  を破棄して  $D_{new}$  を配置する．つまり、アクセス回数の期待値が最も減少するように破棄するデータ  $D_{j'}$  を選択する．これにより、アクセス回数の期待値を減少させることで、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ことができる．ただし、EA法と同様に、 $C_{i,j'} = 1$  となる  $D_{j'}$  は破棄する対象にせず、 $C_{i,new} = 0$  となる  $D_{new}$  は優先的に配置する．

EA+B法は、初期状態では移動体の電力残量が  $\sigma$  以上となる場合が多いため、EA法の動作と等しくなる．時間が経過すると電力残量が  $\sigma$  未満となる移動体が多くなり、これらの移動体にはアクセス頻度の高いデータやネットワーク内の個数の少ないデータが配置されにくくなる．これにより、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ことができる．しかし移動体が多種類のデータにアクセスできなくなり、EA法に比べてデータの利用率が減少する可能性がある．

表2 パラメータ設定

Table 2 Parameter configuration.

パラメータ	値
$L$	500 (100 ~ 1,000)
$C$	5 (1 ~ 50)
$P$	50,000 (50,000, $\infty$ )

## 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．

### 4.1 シミュレーション環境

$L^2[\text{m}^2]$  の2次元平面上に50個の移動体 ( $M = M_1, \dots, M_{50}$ ) 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は、半径70[m]の円とした．

ネットワーク内には、50種類のデータ ( $D = D_1, \dots, D_{50}$ ) 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．各移動体の各データ  $D_j$  へのアクセス頻度は  $p_j = 0.005 \times (1 + 0.05j)$  として、各移動体は1[秒]ごとにこのアクセス頻度に基づいてアクセス要求を発行するものとした．その際、移動体はアクセス要求をフラッディングし、要求したデータをも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 (EA法とEA+B法) に加え、比較対象としてLRU (Least Recently Used) 法を用いた．なお、EA法とEA+B法では、 $n$  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  $P$  [単位エネルギー] とし、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．なお、制御パケットのサイズはデータに比べて非常に小さいものとして、その送受信による消費電力は無視した．また、EA+B法の閾値  $\sigma$  は初期電力の20%に設定した．

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． $P = \infty$  の場合、シミュレーション時間に対してバッテリー容量が十分大きいことを示す．

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、150,000[秒]を経過させたときの以下の評価値について調べた．

- 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．

- ネットワークアクセスの割合

アクセス成功回数に対するネットワークアクセス成功回数の割合．ネットワークアクセス成功回数とは、移動体がアクセス対象のデータ (複製) をもたず、他の移動体のもつデータにアクセスできた回数を指す．

- 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数．

- 移動体の最短生存時間

初めて電力を使い果たした移動体が現れるまでの時間．

表3 バッテリー容量とアクセス成功率

Table 3 Battery capacity and data accessibility.

P	LRU	EA		EA+B	
		$n = 1$	$n = \infty$	$n = 1$	$n = \infty$
50,000	0.40	0.50	0.53	0.47	0.40
$\infty$	0.53	0.63	0.70	0.63	0.70

表4 バッテリー容量とネットワークアクセスの割合

Table 4 Battery capacity and ratio of network data access.

P	LRU	EA		EA+B	
		$n = 1$	$n = \infty$	$n = 1$	$n = \infty$
50,000	0.63	0.69	0.72	0.73	0.74
$\infty$	0.74	0.76	0.80	0.76	0.80

#### 4.2 バッテリー容量の影響

まず、 $P$  が 50,000 と  $\infty$  の場合のアクセス成功率とネットワークアクセスの割合を調べた。結果を表3と表4に示す。 $P = \infty$  のときはバッテリー容量が十分に大きく、移動体がネットワークから退出しない場合を示す。

表3の結果より、いずれの方法も  $P = 50,000$  のときのアクセス成功率が低いことがわかる。これは、電力を使い果たした移動体がネットワークから退出するため、その移動体のもつデータにアクセスできなくなるからである。各方法を比べると、 $P = 50,000, \infty$  のいずれの場合においても、提案方法はLRU法よりアクセス成功率が高いことがわかる。これは、提案方法において、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。 $P = 50,000$  のときのEA法とEA+B法を比べると、EA+B法の方がアクセス成功率が低いことがわかる。これは、EA+B法では、移動体の電力残量が少なくなると、アクセス頻度の高いデータやネットワーク内の個数の少ないデータを破棄するため、データアクセスが成功しにくくなるからである。さらに、各提案方法の  $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、 $P = 50,000$  のときのEA+B法では  $n = 1$  の方が高く、それ以外は  $n = \infty$  の方が高いことがわかる。これは、 $n = \infty$  と設定した場合、広範囲の移動体間でデータを共有するため、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。ただし、アクセスするデータまでのホップ数が大きくなるため、データ転送による消費電力が大きくなる。このとき、 $P = 50,000$  のときのEA+B法では、電力残量の少ない移動体がアクセス頻度の高いデータやネットワーク内の個数の少ないデータを破棄するため、アクセス成功率が低くなる。

表4の結果より、いずれの方法も  $P = 50,000$  のときのネットワークアクセスの割合が低いことがわかる。また、提案方法はLRU法より高い値を示している。これは表3の結果における考察と同様である。 $P = 50,000$  のときのEA法とEA+B法を比較すると、EA+B法の方がネットワークアクセスの割合が高いことがわかる。これは、EA+B法では時間が経過するとアクセス頻度の高いデータを破棄するため、自身のもつデータではなく、他の移動体のもつデータにアクセスしやすくなるからである。

表5 経過時間とアクセス成功率

Table 5 Elapsed times and data accessibility.

経過時間	LRU	EA		EA+B	
		$n = 1$	$n = \infty$	$n = 1$	$n = \infty$
1 ~ 30,000	0.53	0.63	0.69	0.63	0.69
30,001 ~ 60,000	0.47	0.57	0.50	0.53	0.32
60,001 ~ 90,000	0.24	0.29	0.24	0.20	0.12
90,001 ~ 120,000	0.21	0.24	0.20	0.15	0.12
120,001 ~ 150,000	0.19	0.19	0.19	0.12	0.10

表6 経過時間とネットワークアクセスの割合

Table 6 Elapsed times and ratio of network data access.

経過時間	LRU	EA		EA+B	
		$n = 1$	$n = \infty$	$n = 1$	$n = \infty$
1 ~ 30,000	0.74	0.76	0.80	0.76	0.80
30,001 ~ 60,000	0.70	0.73	0.71	0.77	0.73
60,001 ~ 90,000	0.36	0.43	0.31	0.49	0.37
90,001 ~ 120,000	0.23	0.28	0.17	0.35	0.31
120,001 ~ 150,000	0.14	0.12	0.10	0.16	0.16

らである。各提案方法の  $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、 $n = \infty$  の方が高いことがわかる。これは、表3の結果における考察と同様である。

#### 4.3 経過時間の影響

次に、30,000[秒]ごとにアクセス成功率とネットワークアクセスの割合を調べた結果を表5と表6に示す。また、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。

表5の結果より、いずれの方法も時間の経過によりアクセス成功率が低くなることがわかる。また各方法を比べると、この特徴はEA+B法で最も顕著で、次にEA法が顕著だった。これは、表3の結果における考察と同様で、電力を使い果たした移動体のもつデータにアクセスできなくなるからである。提案方法では、アクセス頻度の高いデータや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で、データの利用率を向上させる反面、移動体が多くデータを転送して早く電力を使い果たしてしまう。さらに、EA+B法では、電力残量の少ない移動体がアクセス頻度の高いデータやネットワーク内の個数の少ないデータを破棄するため、アクセス成功率の低下が顕著である。各提案方法の  $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、提案方法はシミュレーション開始時では  $n = \infty$  の方が高く、終了時では  $n = 1$  の方が高いことがわかる。これは、 $n = \infty$  と設定した場合、各移動体が多種類のデータにアクセスできる反面、アクセスするデータまでのホップ数が大きくなり、データ転送による消費電力が大きくなるからである。

表6の結果より、いずれの方法も時間の経過によりネットワークアクセスの割合が低くなることがわかる。また各方法を比べると、この特徴はEA法で最も顕著で、次にEA+B法が顕著だった。これは、表5の結果における考察と同様である。しかしEA+B法では、時間の経過に伴いアクセス頻度の高いデータを破棄するため、自身のもつデータではなく、他の移動体のもつデータにアクセスしやすくなるからである。各提案方法の

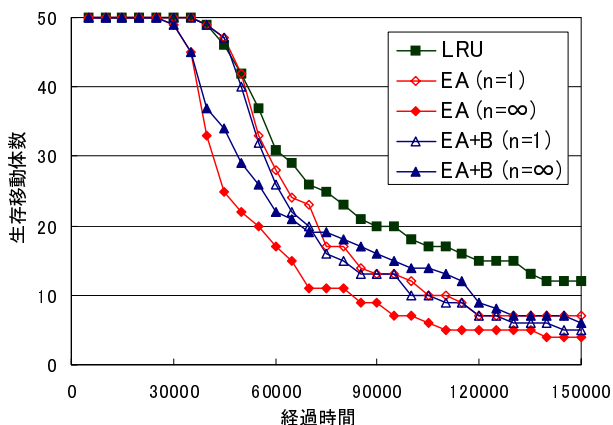


図6 経過時間と生存移動体数

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

$n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、シミュレーション開始時は  $n = \infty$  の方が高く、終了時は  $n = 1$  の方が低い。これは、表5の結果における考察と同様である。

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、 $n = 1$  の場合は提案方法がLRU法とほぼ同じだが、 $n = \infty$  の場合は短くなることがわかる。これは、表5の結果における考察と同様で、 $n = \infty$  と設定した場合、データの利用率が向上する反面、データ転送による消費電力が大きくなり、移動体が電力を早く使い果たしてしまうからである。また、EA法とEA+B法を比べると、 $n = \infty$  ではEA法の方が、 $n = 1$  ではEA+B法の方が、時間の経過による生存移動体数の減少割合が大きくなっている。EA+B法では、 $n = \infty$  のとき、電力残量の少ない移動体がデータの利用率を低下させるように複製を配置することで電力を節約できている。しかし  $n = 1$  のとき、局所的な複製配置により、近くの移動体のもつデータにアクセスしにくくなる。そのため、アクセスするデータまでのホップ数が大きくなり、消費電力が大きくなる。

#### 4.4 データ領域の影響

次に、データ領域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とネットワークアクセスの割合を評価した。その結果を図7、図8、図9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7ではアクセス成功率、図8ではネットワークアクセスの割合、図9では最短生存時間を表している。

図7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。これは、各移動体が配置できるデータ数が増加することで、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わかる。これは、表3の結果における考察と同様である。 $n$  が同じ場合のEA法とEA+B法は、ほぼ同じ結果を示していることがわかる。これは、すべての移動体が生存している期間では、EA法とEA+B法の動作がほぼ同じ

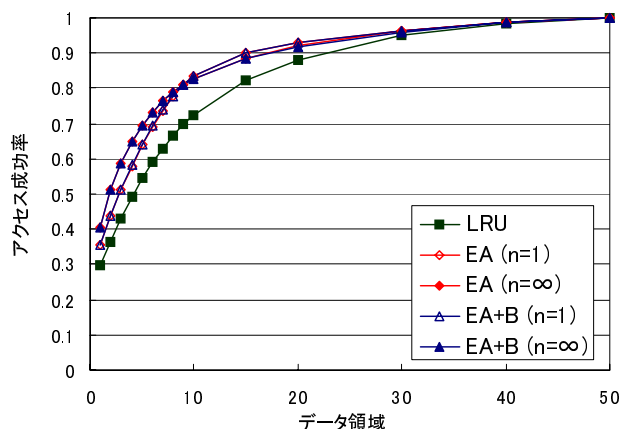


図7 データ領域とアクセス成功率

Fig. 7 Data space and data accessibility.

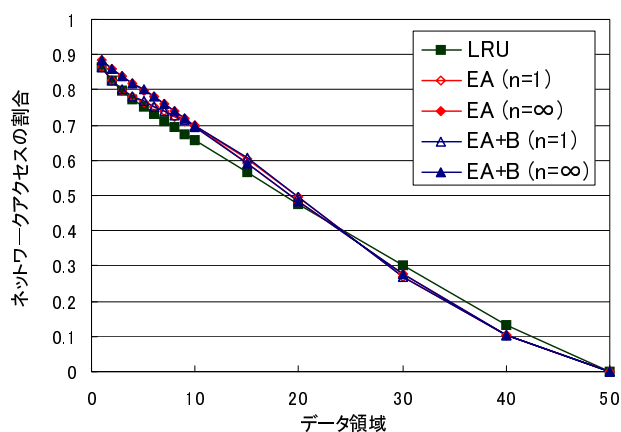


図8 データ領域とネットワークアクセスの割合

Fig. 8 Data space and ratio of network data access.

ことを示す。さらに、 $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、データ領域が小さい範囲では  $n = \infty$  の方が高く、データ領域が大きい範囲では  $n = 1$  の方が高いことがわかる。これは、データ領域が大きいとき、各移動体が多くデータを配置できるため、隣接移動体のみを考慮する  $n = 1$  の方がかえって効果的に複製配置を行えることを表している。

図8の結果より、データ領域が大きくなると、いずれの方法もネットワークアクセスの割合が低くなる。これは、自身のも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提案方法の方が高く、データ領域が大きい範囲ではLRU法の方が高いことがわかる。これは、提案方法では、データ領域が小さい場合でも、移動体間で効果的にデータを共有できていることを示している。一方、データ領域が大きくなると、各移動体がアクセス頻度の高いデータを配置する効果が顕著となり、他の移動体のもつデータにアクセスする機会が減っている。 $n$  が同じ場合のEA法とEA+B法は、ほぼ同じ結果を示していることがわかる。これは、図7の結果における考察と同様である。さらに、 $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、データ領域が小さい範囲では  $n = \infty$  の方が高く、データ領域が大きい

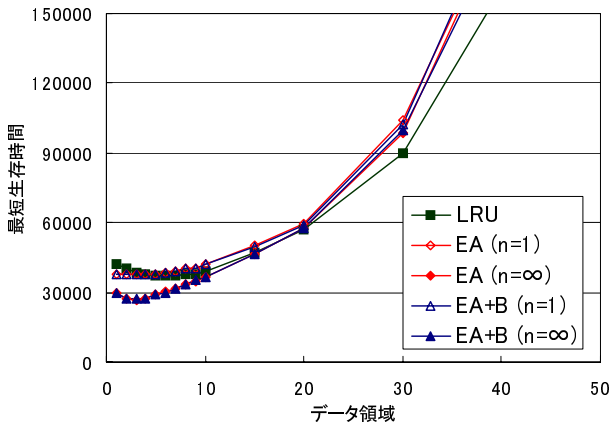


図9 データ領域と最短生存時間  
Fig. 9 Data space and minimum lifetime.

い範囲では  $n = 1$  の方が高いことがわかる。これは、データ領域が小さい場合、 $n = \infty$  の方が多種類のデータにアクセスできることを示している。一方、データ領域が大きくなると、図7の結果における考察と同様で、 $n = 1$  の方が効果的にデータを共有できていることを示している。

図9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のがわかる。これは、図8の結果における考察と同様で、データ転送による消費電力が小さくなるからである。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法の方が長くなる。これは、表4の結果における考察と同様である。一方、データ領域が大きい範囲では提案方法の方が長くなるのがわかる。これは、提案方法では、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、他の移動体のもつデータにアクセスする機会が減るからである。データ領域が非常に大きくなると、いずれの手法もほぼ同じ結果になる。また、 $n$  が同じ場合のEA法とEA+B法は、ほぼ同じ結果を示す。これは、図7の結果における考察と同様である。さらに、 $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると常に  $n = 1$  の方が最短生存時間が長いことがわかる。これは、 $n = \infty$  と設定した場合、各移動体が多種類のデータにアクセスできる反面、データ転送による消費電力が大きくなるからである。

#### 4.5 シミュレーション領域の影響

最後にシミュレーション領域  $L^2$  を変化させたときの提案方法の性能を調べた。4.4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、図12に示す。これらの図において、横軸はシミュレーション領域の一辺の長さ  $L$  を表している。縦軸は図10ではアクセス成功率、図11ではネットワークアクセスの割合、図12では最短生存時間を表している。

図10の結果より、シミュレーション領域が大きくなると、いずれの方法もネットワークアクセスの割合が低くなるのがわかる。これは、シミュレーション領域が大きくなると、各移動体が他の移動体と接続しにくくなるからである。また、提案方法はLRU法よりアクセス成功率が高いことがわかる。これは、表3の結果における考察と同様である。 $n$  が同じ場合のEA法とEA+B法は、ほぼ同じ結果を示していることがわかる。これ

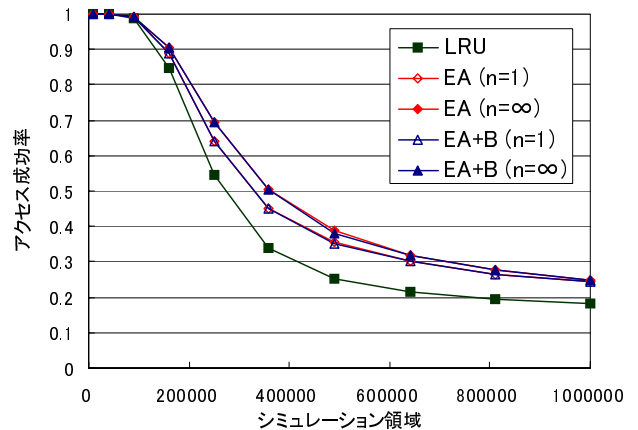


図10 シミュレーション領域とアクセス成功率  
Fig. 10 Simulation area and data accessibility.

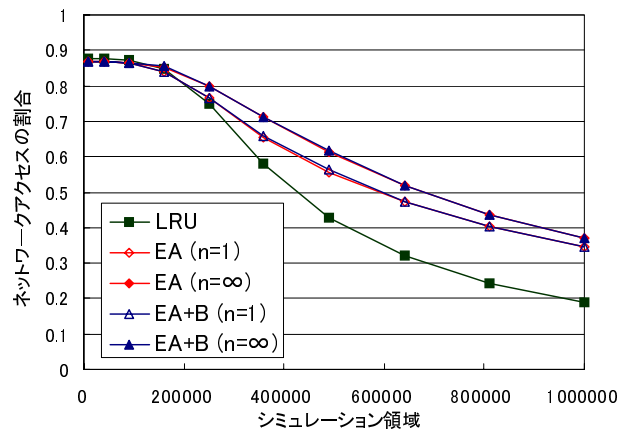


図11 シミュレーション領域とネットワークアクセスの割合  
Fig. 11 Simulation area and ratio of network data access.

は、図7の結果における考察と同様である。さらに、 $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、 $n = \infty$  の方が高いことがわかる。

図11の結果より、シミュレーション領域が大きくなると、いずれの方法もネットワークアクセスの割合が低くなるのがわかる。また、提案方法はLRU法よりネットワークアクセスの割合が高いことがわかる。 $n$  が同じ場合のEA法とEA+B法は、ほぼ同じ結果を示していることがわかる。さらに、 $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると、 $n = \infty$  の方が高いことがわかる。これらは、図10の結果における考察と同様である。

図12の結果より、いずれの方法もシミュレーション領域が大きくなると、最短生存時間は少し長くなった後で、短くなり、再び長くなるのがわかる。シミュレーション領域が非常に小さい場合、各移動体が多くの移動体と隣接し、ほぼ1ホップでデータにアクセスできる。シミュレーション領域が大きくなると、隣接している移動体数が減少し、データの中継による消費電力が多くなる。さらにシミュレーション領域が大きくなると、移動体は他の移動体と接続しにくくなり、データにアクセスできなくなる。また、提案方法をLRU法と比べると、シミュレーション領域が小さい場合では提案方法の方が長く、シミュレーション領域が大きくなるとLRU法の方が長くなる。これ

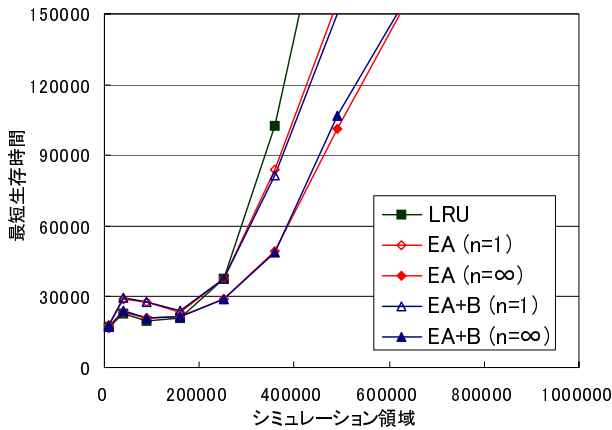


図 12 シミュレーション領域と最短生存時間  
Fig. 12 Simulation area and minimum lifetime.

は、シミュレーション領域が小さい場合には、提案方法の消費電力を均一化する効果が顕著に表れている。一方、シミュレーション領域が大きい場合、LRU 法ではデータアクセスの機会が減るため、生存時間が長くなる。また、 $n$  が同じ場合の EA 法と EA+B 法は、ほぼ同じ結果を示していることがわかる。さらに、 $n = 1$  と  $n = \infty$  の場合を比べると常に  $n = 1$  の方が最短生存時間が長いことがわかる。これらは、上述の考察と同様である。

## 5. 関連研究

近年、アドホックネットワークの研究分野では、アクセス遅延の軽減、通信トラヒックの削減、およびデータの利用率の向上のため、複製配置に関する研究が盛んに行われている。

文献 [2] 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 [9] では、アクセス頻度とネットワークポロジに加え、データサイズも考慮した複製配置方式を提案している。文献 [2], [9] の方式は、定期的に複製を配置するため、移動体がデータにアクセスしたときに複製を配置する本研究のアプローチとは異なる。

文献 [4] 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 [7] では、ネットワークが分断される時間を予測し、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 [4], [7] の方式は、ネットワークが分断してもデータにアクセスできることを保障するが、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。

文献 [8] では、アクセス遅延の軽減とデータ転送によるトラヒ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。この方式では、各移動体が他の移動体のアクセス状況を管理し、頻繁にアクセスされるデータ、またはデータを保持する移動体までの経路をキャッシュする。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。

なお、上述の従来の方式では、移動体の電力残量については考慮していないため、データ転送を多く行う移動体は他の移動体より電力を早く使い果たしてしまう問題がある。

## 6. まとめ

本稿では、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、二つの複製配置方法を提案した。一つめの方法では、各移動体が、データへのアクセス頻度とネットワーク内に存在する各データ（複製）の個数を考慮して、複製を配置する。二つめの方法では、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、一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、各提案方法は LRU 法よりデータの利用率を向上させることを確認した。また、提案方法では、各移動体が多くデータを転送するため、早く電力を使い果たしてしまうが、 $n = 1$  と設定した場合、最短生存時間は LRU 法とほぼ同じになることを確認した。

本稿では、閾値  $\sigma$  を固定値としたが、移動体の電力残量が時間の経過と共に減少していくことを考慮すると、 $\sigma$  を適応的に変化させることで、EA+B 法の性能をさらに向上できるものと考えられる。今後は、適応的な閾値の設定方法について検討する予定である。また、本稿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。しかし、この場合、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、他の移動体より消費電力が大きくなる。今後は、文献 [6] で提案したデータアクセス方法を採用し、さらに移動体間の消費電力の均一化を図る予定である。

## 文献

- [1] J. Broch, D.A. Maltz, D.B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," Proc. IEEE/ACM MOBICOM'98, pp. 85-97, 1998.
- [2] 原 隆浩, "アドホックネットワークにおけるデータ利用率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.
- [3] D.B. Johnson, "Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts," Proc. IEEE WMCSA'94, pp. 158-163, 1994.
- [4] P. Nuggehalli, V. Srinivasan, and C.-F. Chiasserini, "Energy-Efficient Caching Strategies in Ad Hoc Wireless Networks," Proc. MobiHoc'03, pp. 25-34, 2003.
- [5] C.E. Perkins, and E.M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proc. IEEE WMCSA'99, pp. 90-100, 1999.
- [6] 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 (データベースシステム研究会 2005-DBS-135・放送コンピューティング研究グループ 2005-BCCgr-10 合同研究発表会), Vol. 2005, No. 6, pp. 111-118, 2005.
- [7] K. Wang, B. Li, "Efficient and Guaranteed Service Coverage in Partitionable Mobile Ad-hoc Networks," Proc. IEEE INFOCOM'02, 2002.
- [8] L. Yin and G. Cao, "Supporting Cooperative Caching in Ad Hoc Networks," Proc. IEEE INFOCOM'04, 2004.
- [9] L. Yin and G. Cao, "Balancing the Tradeoffs between Data Accessibility and Query Delay in Ad Hoc Networks," Proc. SRDS'04, pp. 289-298, 2004.