

センサネットワーク省電力化機構 HGAF の実装

† 大沢 昂史 ‡ 稲垣 徳也 †† 石原 進

† 静岡大学工学部 ‡ 静岡大学大学院工学研究科 †† 静岡大学創造科学技術大学院

1 はじめに

無線センサの省電力化手法として、ノードを高密度に配置し必要最低限のノードを利用する適応型トポロジがある。この適応型トポロジの実現手法として GAF[1] 及び筆者らによるその拡張である HGAF(Hierarchical GAF)[2] がある。GAF は観測領域を格子状に分割し領域内のノードを位置に応じてグループ分けを行う。そして、各グループ内で転送を担当するノードを 1 台選出し、それ以外のノードをスリープさせることで省電力化を実現する。HGAF では、GAF における格子をさらに格子で分割してアクティブノードの位置を特定の領域に特定することで格子面積を拡大し、ネットワーク内のアクティブノード数を削減することによって更なる省電力化を図る。本稿では、HGAF の MICAz-Mote 上での試作について述べる。

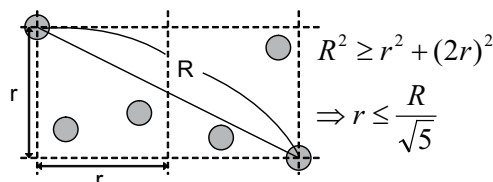


図 1: GAF におけるセルの大きさ

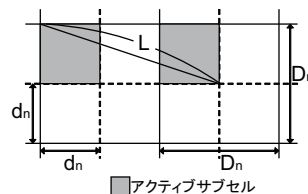


図 2: HGAF におけるセルの大きさ

2 HGAF

2.1 Geographical Adaptive Fidelity (GAF)

まず、HGAF のベースとなる GAF について説明する。GAF は、観測領域を格子状に分割し、ノードを位置に基づいて複数のグループに分割する。各格子(セル)から予想稼働時間のもっとも長い 1 台のノードを転送を担うアクティブノードとして選出し、他のノードを休止させる。アクティブノード以外のノードは、アクティブノードの予想稼働時間に応じた長さの時間だけスリープした後起動し、自身の予想稼働時間をブロードキャストする。またアクティブノードは定期的に自身の予想稼働時間をブロードキャストする。各ノードは自身よりも予想稼働時間の長いアクティブノードの存在を知るとスリープする。これにより各セルで予想稼働時間の長い 1 台のノードをアクティブとすることで省電力化を実現する。セル面積が大きいほど領域内のアクティブノード数を減らすことができ、省電力化の効果が大きくなる。

GAF では隣接セル間でのデータ転送の必要性から、セルの大きさは隣接セル内のすべてのノードが互いに通信可能であるように決定される。従ってノードの通信半径を R とすると、図 1 のように隣接セルの最も遠い 2 点間の距離は R 以下である必要がある。この制約により、GAF のセル一つあたりの最大面積 S_{GAF} は、 $S_{GAF} = R^2/5$ となる。

2.2 Hierarchical Geographical Adaptive Fidelity (HGAF)

GAF では隣接セル間でのアクティブノード同士の通信を保証するためにセルの大きさが制限され、その制約を超えての省電力化は望めない。そこで HGAF ではアクティブノードの位置をすべてのセルで同期されたセル内の特定の領域に限定することで、セル面積をさらに拡大する。これにより GAF に対してアクティブノード数を減らすことが可能となり、更なる省電力化が期待できる。

HGAF ではセルを更に複数の格子(サブセル)に分割する。このサブセルの中の一つをアクティブサブセルとして選び、その中のノードから GAF と同様のアクティブノード選出処理を行う。非アクティブなサブセル内のノードはすべて休止する。HGAF ではアクティブノードの位置はアクティブサブセル内に限定することができるため、図 2 のように隣接セルのアクティブサブセルで最も離れた 2 点間の距離 L が最大通信半径 R 以下となればよい。

セルの一辺におけるサブセルの分割数を n 、セルの一辺の長さを D_n 、サブセルの一辺の長さを d_n とすると、隣接セルのアクティブサブセルの対角線 L がノードの最大通信半径 R 以下とならなければならないため、

$$L^2 = (d_n)^2 + ((n+1)d_n)^2 \leq R^2$$

を満たす必要がある。 $D_n = nd_n$ なので

$$D_n \leq \frac{n}{\sqrt{(n+1)^2 + 1}} R$$

Implementation of hierarchical geographical adaptive fidelity for power saving of sensor networks
Takashi OSAWA†, Tokuya INAGAKI‡
and Susumu ISHIHARA††

† Faculty of Engineering, Shizuoka University

‡ Graduate School of Engineering, Shizuoka University

†† Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

である．これより HGAF におけるセル面積 S_{HGAF} は

$$S_{HGAF} = \frac{n^2}{(n+1)^2 + 1} R^2 = \frac{5n^2}{(n+1)^2 + 1} S_{GAF}$$

となる． $n = 2$ の場合，セルの最大面積は $S_{HGAF} = 2R^2/5 = 2S_{GAF}$ となる．

3 HGAF の実装

3.1 セル分割とアクティブサブセルの交代

HGAF では各ノードは位置情報に基づいて自身の所属するセル及びサブセルを決定する．これらは GPS 等によって取得すべきものであるが，本試作では各ノードに対して，ソフトウェアのインストール時にあらかじめその設置位置に応じてノードが所属するセル ID，サブセル ID，セル一つ当たりのサブセル数の情報を静的に与えるものとした．また，各セルにおいて ID が小さいサブセルから順にアクティブサブセルとする．

3.2 残存電力の予測

HGAF では GAF 同様にスリープ時間の決定に予想稼働時間を用いるため，稼働時間の予測が必要となる．しかし MICAz-Mote では電源電圧の情報しか取得できず，正確な予測は困難である．そこで，本試作では過去の起動時間をもとに仮想的に残存電力を管理することで稼働時間の予測を行った．

各ノードに対してソフトウェアのインストール時に，電源容量，アクティブ時及びスリープ時の消費電流の情報を与える．ノードは 1 秒ごとに発火するタイマを持つ．タイマが発火するたび，電源容量から消費電流分だけ値を減じる．その時点での電源容量をアクティブ時の消費電流で除することで予想稼働時間とする．なおスリープ時間の計算法は GAF の論文 [1] に従った．

3.3 時刻同期

HGAF での隣接セル間での通信の保証，及び同一セル内での複数のアクティブノードの存在を防ぐため，アクティブサブセルの交代時刻の同期が必要である．センサネットワークにおける時刻同期手法については様々な研究が行われているが，HGAF の本質ではないため本試作では扱わない．本試作では，1 ホップブロードキャストされた起動信号の受信によりすべてのノードが動作を開始するタイミングを揃えることで簡易的な時刻同期とした．

起動信号を受信したノードは直ちに HGAF の動作を開始し，アクティブサブセルの交代周期毎に発火するタイマをスタートさせる．これによりすべてのノードにおけるアクティブサブセルの交代周期を同期する．

3.4 動作の確認

試作した HGAF において，アクティブノードの交代処理及びアクティブサブセルの交代処理の動作を確認するための実験を行った．セルを 2 つのサブセルに分割し，各サブセル内にノードを 2 台設置した (図 3)．セルの一辺の長さは，ノードの最大通信距離を 3m としたときの最大セル面積となるように決定した．各ノードがブロードキャストするディスカバリメッセージをシンクノードで監視することで各ノードの予想稼働時間の情報を収集した．各ノードの仮想的な初期電源容量は 800mAs である．これは実際の電池の容量 (3000mAh) と比較すると小さい値だが，アクティブノードの交代周期が短くなるため動作確認には都合がよい．アクティブ時の消費電流は，MICAz-Mote のデータシートより約 8mA である．スリープ時の消費電流は非常に小さいため無視した．これによりノード 1 台あたりのアク

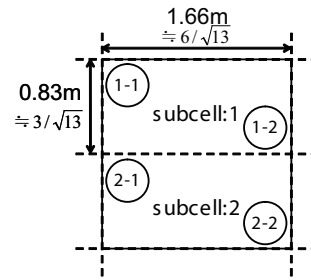


図 3: 動作確認におけるノード配置

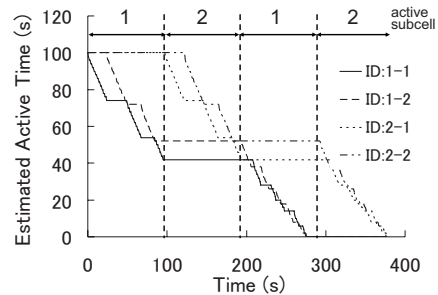


図 4: 各ノードの予想稼働時間とアクティブサブセルの推移

ティブ時の稼働時間は約 100 秒である．よってノード数が 4 台であることから，ネットワーク内においてアクティブノードが存在する時間は約 400 秒となる．アクティブサブセルの交代周期は 100 秒とした．従って，ネットワークの稼働中に 3 回のサブセル交代が起きると期待できる．図 4 は時間経過に伴う各ノードの予想稼働時間の推移とアクティブサブセルの変化を示している．予想稼働時間が長いノードから順にアクティブノードとなり，予想稼働時間を減少させている事がわかる．また，予想稼働時間の長さに応じた時間経過に伴ってアクティブノードの交代が起こっている事が確認できる．加えて，アクティブノードの交代はその時点でのアクティブサブセルに属する 2 台のノード間でのみ行われている事から，アクティブサブセルの交代が行われている事も確認できる．

4 まとめ

本稿では無線センサ省電力化機構 HGAF を MICAz-Mote 上に実装し，その動作を確認した．今後の課題として，複数のセルでの動作の実現，そのためのルーティングの検討と実装，残存寿命予測を実際の電源電圧から行う仕組みの検討及び実装，すべてのセルにおけるアクティブサブセルの位置の同期が挙げられる．

参考文献

[1] Ya Xu, et al: "Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing," in proc. of MobiCom'01, pp.70-84, 2001.
 [2] 稲垣 徳也, 石原 進: "センサネットワークのための位置情報を用いた階層的省電力化手法の評価," DI-COMO 2007, pp.66-73, 2007.