

1 はじめに

広範囲の環境を随時監視するセンサネットワークでは、センサノードは電源供給が困難な場所に配置されることが多い。そのため、省電力化が重要となる。

センシングデータをマルチホップ通信で収集する場合、無線 LAN の MAC 層通信方式である CSMA/CA 方式を利用すると、隠れ端末問題が多発し通信性能が大幅に劣化する恐れがある。

先行研究では、同一無線チャネルの使用を仮定した自律分散的なフレーム転送のスケジューリング機構として、位相拡散時分割方式の有効性を検証している。しかし、そこではセンサは固定位置にあるものとして検証を行っており、センサの移動性については考慮していない。

そこで本研究では、各センサノードの移動性を考慮し、移動ノード数、ノードの移動速度が位相拡散時分割方式の通信タイミングを調整し終えるまでの時間に与える影響を調査する。

2 位相拡散時分割方式

2.1 フレーム転送の衝突と相互作用範囲

無線通信において、近傍にあるノード間で同時に送信が行われると、電波の干渉により衝突が発生する。このような衝突は、通信範囲が重複することによる直接衝突と、隠れ端末問題と呼ばれる衝突の二つに分けることができる。隠れ端末問題とは、図 1 のようなノード群において、ノード 0 とノード 10 がノード 1 宛に同時に通信を開始する場合に発生する問題である。位相拡散時分割方式では、この隠れ端末問題を考慮し、通信タイミングを調整しなければならない範囲として図 1 のように通信範囲の 2 倍の範囲である相互作用範囲を定義している。

2.2 動作概要と最小分割数

ここで無線ノード i の位相を θ_i とし、通信は位相 $(0, 2\pi)$ の内 $0 < \theta_i < \phi_c$ の範囲で行い、各ノードは周期的に通信を行うものとする。

位相拡散時分割方式とは、通信を開始するノードがインパルス信号を送信し、それを受け取ったノードが自律的に位相差を形成することで相互作用範囲内のノードとの通信タイミングの重複を回避する方式である。位相は、ノード間のフレーム転送に衝突可能性がある場合は受信ノードの位相を遠ざけるように調整され、衝突可能性がない場合は予め設定された分割数に従い通信周期を分割する点に位相を近づけるように調整される。

図 1 に示すノード 0 の相互作用範囲内ノードにおいて、位相拡散時分割方式を適用する前の位相の初期配置と位相拡散時分割方式を適用し全ノードにおいて衝突がなくなった時の位相配置を図 2 に示す。ここでは分割数を 5 に設定しているため領域を分割する点である分割点が 5 個となり、それぞれのノードは分割点に集められている。このような状態を収束状態とし、収束状態に遷移するまでの時間を収束時間とする。

しかし、図 2 の (b) に示す位相配置は図 1 のノード 0 の相互作用範囲内においてのみ通信タイミング調整を行ったもので、実際はノード番号が割り当てられていないノードの通信タイミングも調整しなければならない。これを考慮すると分割数 5 では通信タイミングの重複回避に要する時間が増大し、現実的な利用には適さなくなってしまう。そのため位相拡散時分割方式ではノード数に応じて分割数を増やし位相配置に余裕を持たせる必要がある。以降、収束に至るための分割数を最小分割数とする。

2.3 位相ダイナミクス

インパルス信号を受け取ったノードは、(1) 式によって位相を決定する。(1) 式は、各センサノードの通信周期を決定する固有振動数 ω_i を含む、インパルス信号を受け取ったノードが位相応答関数 $R(\Delta\theta_{ij})$ によって送信タイミングの調整を行う相互作用項、相互作用項によって均衡状態に陥った場合に確率的に位相を変動させる確率項の三つの項から構成されている。

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{k}{N} \sum_{j \in K_i} R(\Delta\theta_{ij}) + \xi(S_i) \quad (1)$$

3 シミュレーションモデル

本研究では、以下のような条件でシミュレーションを行う。

- ノード配置：正規格子状
- 通信範囲：1point
- point：2 ノード間の 1 座標分の距離。
- 相互作用範囲：2point
- ノードの移動方向 / 速度：一方向 / 等速

図 3 にノード配置が 7×7 、ノードが右方向に移動する場合のシミュレーションモデルを示す。評価指標には、全ノードが収束に要するまでの時間である平均収束時間を用いる。

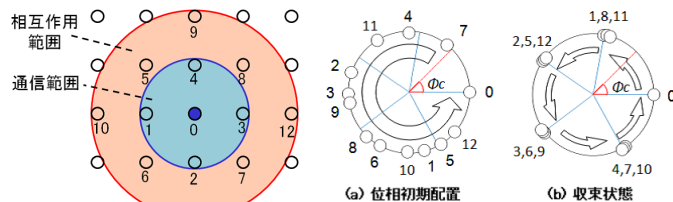


図 1: 通信範囲と相互作用範囲

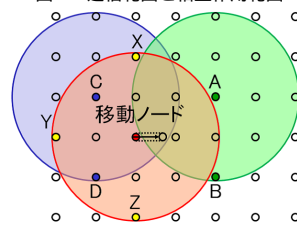


図 2: タイミング調整のイメージ図 (分割数 = 5)

図 3: シミュレーションモデル (ノード配置 7×7 、移動ノード数 1)

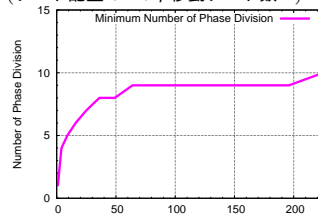


図 5: 各ノード数における最小分割数

図 4: ノードの移動速度と収束時間 (ノード配置: 7×7)

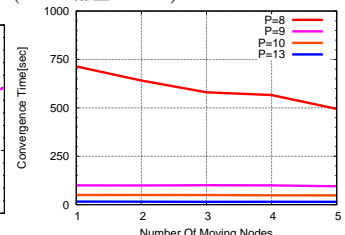


図 6: 移動ノード数と収束時間 (移動速度 = 0.0005 [point/sec])

図 6: 移動ノード数と収束時間 (移動速度 = 0.0005 [point/sec])

4 シミュレーション結果及び考察

4.1 移動ノードが 1 つの場合の収束時間への影響

図 4 に図 3 のシミュレーションモデルにおいて設定分割数が異なる場合の移動速度と平均収束時間の関係を示す。緑線は移動ノードの速度に応じて図 3 のノード A, B が移動ノードの相互作用範囲内に入る時間を示し、青線は移動ノードがノード C, D の相互作用範囲内から出て行く時間を示している。また、図中の P は分割数を示しており、ノード配置 7×7 においては、最小分割数が 8 であったため、図 4 では分割数 8 以上の結果を示している。

図 4 において分割数が 8 の時、 $0 \sim 0.0005$ [point/sec] の間で収束時間が減少している。これは、ノードの移動によって移動ノードとノード X, Y, Z の相互作用範囲内のノード数が減少するためであると考えられる。また、速度が $0.0005 \sim 0.001$ [point/sec] になると収束時間が増加している。これはノードの移動速度が増加することによって、相互作用範囲内のノード数が減少している間に通信タイミングの調整が終わらなず移動ノードがノード A, B の相互作用範囲内に入るためであると考えられる。

このように分割数 8 においては収束時間にノードの移動による影響が見られるが、図 4 を見ると分割数 9 以上ではノードの移動は収束時間にほぼ影響しないことが分かる。これは分割数が増加すると相互作用範囲内のノードが同期を取るタイミングが増加し、ノードの移動による相互作用範囲内のノード数の増減による影響が減少するからだと考えられる。

以上から移動ノード数 1 では、最小分割数以上の設定によるノードの移動は収束時間に大きく影響しないといえる。

図 5 に最小分割数とノード数の関係を示すが、この図より位相拡散時分割方式では、分割数を 10 以上に設定するとノード数に関わらずノードの移動は収束時間に大きく影響しないと考えられる。

4.2 移動ノード数の収束時間への影響

図 6 に移動ノード数が 1~5 個の場合の収束時間を示す。この図では分割数 8 において移動ノード数が増えるに従って収束時間が減少している。これは複数ノードが同時に動く事により、同時に多くのノードの相互作用範囲内のノードが減少し、収束状態に遷移しやすくなるためだと考えられる。また、最小分割数以上の分割数では 4.1 節と同様に収束時間は変動していない。

これらから移動ノードが増加しても分割数を最小分割数以上に設定すれば収束時間にほぼ影響しないことが確認できる。

5 まとめ

本研究では、移動ノードの速度と収束時間の関係と分割数の影響を調査し、位相拡散時分割方式による転送タイミング調整がノード移動に有効であるか調査した。その結果、ノード数の増減や移動ノード数の増減に関係なく、分割数を大きく設定すればノードの移動による収束時間への影響はみられないことを確認した。しかし、分割数を大きくしすぎると通信範囲 ϕ_c が狭くなり、転送性能が劣化する事が考えられるため適切な分割数を設定する事が必要である。