

無線センサネットワークにおけるプログラムの動的配備方式

畑谷 進太[†] 久保田 稔[‡]千葉工業大学大学院工学研究科^{†‡}

1. はじめに

無線通信機能を持つ組み込み機器の小型化，省電力化により，多くの無線通信をする機器(ノード)から構成される無線センサネットワーク(WSN)は自然環境の観測や，工場などの設備の状態の管理のために広く使われるようになってきている．しかし，そのようなノードは十分なプログラム領域を持たず，あらかじめ多様な環境の変化に対応可能なプログラムを組み込んでおくことは困難であり，プログラムを動的に配備することで要求に応じて動作を変更する必要がある．本稿では，同一の機能を提供するノード(同種ノード)が多数存在する環境である WSN において，多数の同種ノードから適切な配備対象のノードを選出し，プログラムを動的に配備するための手法を提案する．

2. 関連研究

WSN におけるソフトウェアの配備にはいくつかの手法がある．初期の試みとしては，TinyOS の Deluge[1] に代表される，プログラム全体のイメージ，もしくはその差分を送信し，センサノードに組み込まれたプログラムを書き換えるものがある．この手法は，センサノードのプログラムを書き換えた後に，動作を変更するためにセンサノードを再起動させる必要があり，その時点での通信状態などが失われてしまい，一時的にサービスが停止する問題がある．

他のアプローチとして，センサノード特有の CPU 命令ではないプログラムを解釈するための VM を動作させ，その VM で解釈できるプログラムを配備して実行する手法[2]がある．さらに，OS 側にネイティブで実行可能な小さなプログラムをロードすることができる機能を持たせることで，ネイティブなプログラムをノードに配信し，実行する手法[3]がある．これらの配備手法は特定の一つのノード，もしくはネットワーク内の全てのノードにプログラムを配備することで，WSN 全体の動作を動的に変更する．

3. 想定するシステムモデル

我々はプログラムを動的に配備することでサービスを提供するシステムとして動的適応システム[4]の開発を進めている．本稿ではこれをプログラムの動的配備を行うシステムのモデルとして用いる．動的適応システムでは，機能変更可能なノードを M ノード(Micro Node)，それらのノードが構成するアドホックネットワークを M ネットワーク(Micro Network)，M ネットワークを管理するノードを MNM(Micro Node Manager)，複数の M ネットワークの情報を管理するノードを MNG マネージャ(Micro Node Group Manager)と呼ぶ．動的適応システムは，M ネットワーク内に存在する異なる機能を提供する多種の M ノードを組み合わせることで提供可能なサービスを生成し，当該サービスに使用する M ノードの集合を MN グループと呼ぶ．動的に配備される対象となるプログラムの単位を MSC(Micro Software Component)と呼ぶ．MN グループに MSC を配備することで，サービスを実行する．図 1 に概要を示す．

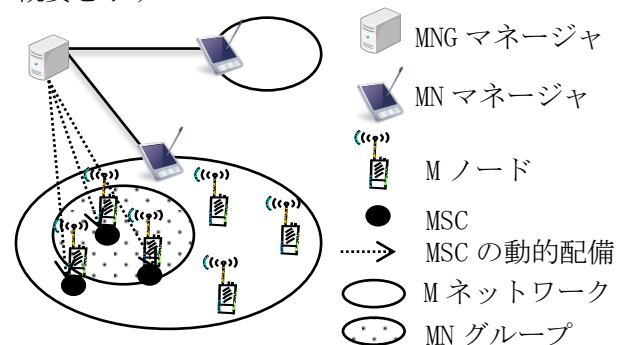


図1 動的適応システムの概要

4. ノードを活用する MSC の動的配備方式

動的適応システムの開発において M ネットワーク内に通信可能な多種のノードがある中から，実行すべきサービスに使用するノードの集合である MN グループを決定し，MSC を配備する機能の実装，検証を行ってきた．しかし，複数の同種ノードを同時に使用することを想定していない．そのため，同種ノードが複数存在する際に，それらのノードを活用するサービスの提供が不可能であった．

WSN では通常一つのネットワーク内に同一の機能を提供するノードが複数存在する。よって WSN でサービスに使用するノードに対して MSC を配備しサービスを提供するためには複数ある同種ノードを扱うことは必要不可欠である。

ここで、複数ある同種ノード全てを一つのサービスで占有してしまうと、WSN 内で特定の種類のノードを使うサービスを同時に動かすことができなくなる問題が生じる。よって、必要なノードのみをサービスで使用できるようにするための手法が必要である。

4.1. 動的配備対象ノードの選出

動的適応システムでは、サービス実行に必要なノードの持つべき機能の条件をサービスシナリオと呼ばれる XML ファイルに記述している。本研究では、同種ノードの中から特定のノードを選出するための条件をサービスシナリオに記述できるように以下の 2 種類の選出手法を実装した。それぞれの概念を図 2 に示す。

(a) スコア付け：例えば「電池残量が多いノードを上位 5 個」のように、ノード全体を順序付けできる値を使ってソートしたものから上位 n 個を取り出す手法である。n=1 とすると、最適なノードを使用する、という条件を表現できる。

(b) 包含、除外：定性的に真偽で判別できる述語に合うノードの集合を取り出す。別の条件と組み合わせると和集合や積集合、差集合のような複雑な条件を指定することが可能である。

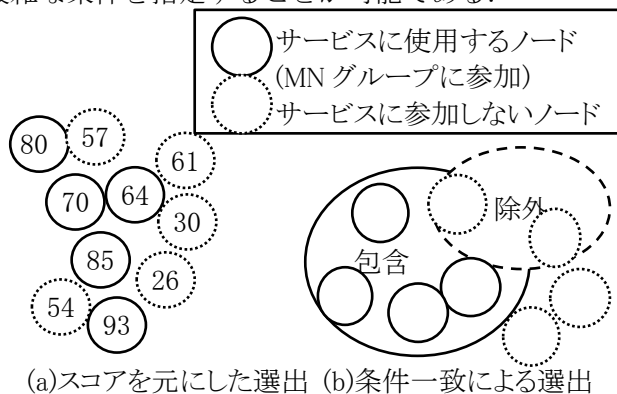


図 2 選出手法

これらの手法は XML ファイル内の属性値として JavaScript の式を埋め込み、MNG マネージャが評価することで実現した。これにより、M ネットワーク内に複数同種のノードが存在する時に、サービスシナリオに応じたノード集合に対して MSC を配備することができ、環境にするノードをより活用するサービスが実現できるようになった。

4.2. 動的配備対象ノードの更新

条件に当てはまる同種のノードの集合に MSC を配備する場合、WSN ではノードの移動や損失などが原因で一部のノードへの MSC の配備が失敗することがありうる。更に、ノードの移動や追加により、サービスに参加する条件を満たしたノードが後から増える場合がある。

このような場合に既に提供中のサービスを停止すること無く、新しく追加されたノードをサービスに参加させるために、ノードが定期的に今実行している MSC を通知できるようにした。この通知に応じて随時 MN グループの参加条件を再評価することで、サービスの実行時に MSC の配備に失敗した場合や、後から追加されたノードがある場合でも、MSC が実行されていないノードがあることを検知した時に MSC を動的に配備して動作させる機能を実現した。

5. 評価

実機を使って、同種ノードが複数存在する M ネットワークで MSC の配備及びサービスの提供が可能であることを検証した。また、実機を使わずに、ランダムで通信が不可能になるダミーのノードを使うことで、頻りに配備に失敗するときも適切に MSC の配信ができることを確認する。

6. まとめ

複数の同種ノードを扱うために、通信可能な範囲にある中からサービスに使用するノードをするための条件を記述できるようにし、その条件を元に選出したノードに対して MSC を動的に配備することで、ノードをより有効的に活用したサービスの提供を可能にした。今後、サービスの提供中に WSN 内の構成が変化した時に、サービスで使用するノードを変更できる機構を実現する。

参考文献

- [1] J. W. Hui and D. Culler: The dynamic behavior of a data dissemination protocol for network programming at scale, SenSys '04, 2004.
- [2] Philip Levis and David Culler: Mate: A Tiny Virtual Machine for Sensor Networks, ASPLOS X, 2002.
- [3] Adam Dunkels, et al: Run-time dynamic linking for reprogramming wireless sensor networks, SenSys 2006.
- [4] 久保田 稔: 動的適応性をもつモジュラー型基盤ソフトウェアの提案, 情処研報, SLDM, 2006(28), pp. 97-102.