

移動クラスタ方式による アドホックセンサネットワーク構成管理

西尾 信彦^{†‡} 徳田 英幸^{‡*}

科学技術振興事業団, さきがけ研究 21, 「協調と制御」領域[†]
慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科[‡]
慶應義塾大学 環境情報学部^{*}

本稿では来るべきポスト PC 時代に向け, 情報通信機能を備えたデバイスが人や自動車などに付属して広域に分散した Mobile Ad-hoc Network 環境を仮定し, そこでの即興的なセンサネットワークである Improvised Network の構成技術について考察する. 本環境では, センサネットワークのアプリケーションのための属性ベース・ルーティング技術と省電力指向のネットワーク構成管理技術が重要である. 我々は Improvised Network における問題設定を明らかにし, ISI の Directed Diffusion や MIT の Span といった既存技術の適用について考察し, 更にそれらのシナジー効果を狙ったレイヤ・アグリゲーション手法を提案する. 本稿では興味のある事象が発生している領域 (ホットスポット) に移動性のあるクラスタを構成し, センサ情報の in-network 処理を実現する. また, この移動クラスタを利用してセンサネットワーク内の場所に応じた挙動に適応した省電力機構の実現について考察する.

Ad-hoc Wireless Sensor Network Construction Using Mobile Clustering

Nobuhiko NISHIO^{†‡} and Hideyuki TOKUDA^{‡*}

[†]“Intelligent Cooperation and Control,” PRESTO,
Japan Science and Technology Corporation(JST),

[‡]Graduate School of Media and Governance, Keio University,

^{*}Faculty of Environmental Information, Keio University

Confronting with the post-PC era, we can see many kinds of devices which is equipped with computation capability as well as communication capability. In such an environment, we are developing Improvised Network technology which manages a kind of sensor network which consists of these small sensor devices equipped with wireless communication. For Improvised Network's applications, technologies on attribute-based routing and power-saving network construction management are crucially important. We introduce a set of problem constraints on Improvised Network applications, survey issues on related work like ISI's Directed Diffusion and MIT's Span, and propose a layer-aggregation for these technologies. We named a region where curious events occur as *hotspot*, and form a mobile cluster in order to manage *in-network processing* of sensor-captured information. An enhanced power-saving mechanism is considered in response to the dynamics of the clusters.

1 はじめに

近年の無線ネットワークや小型携帯端末の製造技術の発達により, 日常生活の中に様々な無線通信端

末が利用されるようになってきている. これらの通信端末の中には携帯電話や PDA, カーナビゲーション

ンシステムなどの応用が含まれる¹。またこれらの携帯無線端末が量と範囲において大規模に分散し通信インフラストラクチャが他に存在しない状態で適用できるようなモバイルアドホックネットワーク技術(MANET)[2]の研究開発も盛んに行なわれている。

近年ではさらに MANET を応用発展した技術として、各端末にセンサ機能を持たせた無線センサネットワークの研究も注目され始めている。センサネットワークでは、

1. 各ノードはバッテリー駆動の無線端末であることと、
2. ノード間の通信よりもセンサが感知したデータそのものの取得に興味がある、

という点でモバイルアドホックネットワークとは区別して特徴づけられる。バッテリー駆動であるために、各ノードの駆動時間を長くするための省電力機構の開発や、そのためのネットワーク構成法や通信プロトコルの研究開発などが行なわれている。また MANET における DSR や AODV に代表されるようなルーティングプロトコル技術の開発 [3] においては、通信しあうノードの ID が既知であるときに、そのノードにデータを届けるルーティング情報をどのように獲得し管理するかが重要な要件になっているが、センサネットワークにおいてはノード自身にはあまり興味がない。センサネットワークにおける通信のあるノードが始める場合には、センサを用いて監視されているある地点のある時刻における観測事象の情報に興味があるために、よりデータ・セントリックなルーティング機構が必要になる。多くの場合、通信を始めるノードは、自分の通信先のノードではなく自分が興味を持っている事象が起きている場所のみ興味がある。自分の通信する相手のノードはたまたまその興味のある場所を観測可能であるノードであれば何でもよく、ある意味ではそこで観測され配信されるデータは anonymous なものでいいと考えられる。更に各センサノードは移動性を持つことが仮定されるので、次々にその興味のある場所からデータを送信するノードが交代することもありえる。更に興味のある場所がはじめから特定されてはいない場合も多く、その場合には自分の興味を記述した interest と呼ばれる要求パケットを

¹ 厳密な意味ではこれらはまだ無線ネットワークを装備していないものが多いが、IEEE802.11b[1] や Bluetooth に代表される近距離無線通信機能の低価格化につれて、いずれこのような携帯無線端末をプラットフォームとしたアプリケーションが出てくることによって今後急速に普及して行くことが期待される。

flooding することにより興味のある事象の存在を確認し、その位置情報を獲得するところから始めなければならない。

我々は省電力指向でありデータ・セントリックであるセンサネットワーク的な応用への MANET 技術の適用および、そのために必要とされる新たな基盤技術の研究開発に興味をもっており、更に従来のセンサネットワークが対象としていたいわゆるセンサノードだけではなく、近年、多くの日常生活のシーンで見られるような携帯電話や自動車などもセンサノードと見なすことによって、新しいアプリケーションの創出を期待している。

そこで我々は、近距離無線機能をもった携帯端末が量的にも場所的にも大規模に分散した環境で構成される「即興的な」ネットワークを Improvised Network と呼び、このような「即興的な」環境で適用できるようなアプリケーション構築を支援する基盤技術の研究開発を行なっている [4]。「即興的」という言葉の意味としては、直截的には (i) 短時間で、(ii) インフラストラクチャを必要としないでネットワークを構成する、ということであるが、それ以外にも、通常のセンサネットワークが単一目的に特化して利用されるのとは対照的に、第三者がそれぞれの目的でこのネットワーク構成し利用できるようにしたいという意図も入っている。つまり街中を大勢の人々が携帯電話をもって歩きまわったり、多くの自動車が走りまわっていることにより、既に「潜在的に」ネットワークが形成されていると第三者がとらえて、各自で自分の適用したいアプリケーションを利用するという意味でもある。

本稿では、Improvised Network における属性ベース・ルーティングと省電力指向のネットワーク構成管理手法について検討する。本稿の以下の構成は次のようになっている。次節でまず Improvised Network が対象とする適用シナリオを提示することによって問題領域を規定する。3 節ではどのような既存技術がその領域に対して適応可能であるかを検討し、特に MIT の Span[5] と ISI の Directed Diffusion[6] について説明する。4 節ではこれらの Improvised Network においてどのようにそれらを拡張し最適化していくかを述べ、最後に結論と課題について述べる。

2 Improvised Network における問題設定

我々は Improvised Network に必要となる基盤技術を明確にするために以下に示すような想定環境において、単純なシナリオを設定することとした。

● 想定環境

1. 各ノードはユニークな識別子をもつ。
2. 各ノードでハードウェア要件は均質である。
3. 各ノードは無線通信機能と情報処理機能をもつ。
4. 各ノードは自分の位置情報を取得できる。
5. 各ノードの時刻は同期しており現在時刻を正しく取得できる。
6. 各ノードは自分の近傍で起きた事象を認識できるセンサ機能をもつ。
7. 無線通信機能は近距離レンジであり各ノードは近傍のノードとしか直接には通信できない。逆に直接通信できることにより相手が近傍にいることが認識できる。
8. すべてのパケットはどのノードから発信されたかがユニークに識別できる。
9. 各ノードはバッテリーで駆動されている。
10. 各ノードは何らかの移動モデルに従って移動性をもつ。
11. 無線通信や物理的な移動に関する障害物は存在しない。

● 想定シナリオ

想定するシナリオは単純で、任意のノードが自分に興味のある事象の属性を記述した要求を送り、その要求にマッチする事象を観測したノードが要求があったノードに送るというもの。

ここでのシナリオは単純ではあるが、事象の発生特性によって問題自体はかなり変わってくる。そこで、本稿ではもう少し問題を分類し、以下で検討する適用技術を限定する。まず、事象の発生特性であるが、代表的な2つのシナリオ例について考察してみる。代表例の1つ目は、物理的に個数が固定の(例えば一つ)の標的の位置を追跡するというものである。具体的な例としては、標的が動きまわってれば一台の逃走する自動車を追跡するとか、標的が止ってれば地雷の走査などが考えられる。この場合、標的の個数が変化しないことや、標的の出現という事象の発生が連続的にしか起きないという特性がある。代表例の2つ目は、事象はその領域全体でどこにでも発生する可能性があり、時系列的に見ても不連続

である場合である。具体的には、広域な気象観測をしていて特定の条件を満たした地点を知るとか、街に外出している消費者のリアルタイムな行動に対してのマーケティング調査などで、一定の条件を満たした消費者にそれに適した広告メッセージを配信する場合である。1つ目と比較すると、事象の発生は地理的にも時系列的にも不連続になる可能性があり、事象の発生する箇所の限定が極めて困難である。それと比較すると代表例の1つ目は、事象の発生特性が限定的であるために適用技術の最適化などが導入しやすい。これらを考慮して、本稿では、時間的にも空間的にも事象の発生特性が連続的であるような例について考察する。

更にこの問題を設定での評価方針としては、[4]にも述べているように、Fidelity vs Usability のトレードオフの中でどれだけ消費資源を節約して、事象の再現性を確保できるかを用いる。消費する資源としてはパケットの総転送量と各ノードのバッテリーの総消費量であり、事象の再現性は追跡する標的のある時刻における位置をどの程度の遅延と位置誤差で獲得できるかによって測る。

3 適用可能な既存技術

前節で述べたような問題設定において既存技術でどのようなものが適用可能であるかを考察した。以下では、データ・セントリックなルーティング技術と省電力指向のネットワーク構成技術のそれぞれの観点から検討する。

3.1 データ・セントリック・ルーティング技術

もともとデータ・セントリックなルーティングを提案したのは ISI の Directed Diffusion[6] であるが、地理的な情報を用いてパケットを配送する仕組みについては GPSR[7] の geographic forwarding や AHLoS[8]、そのためのスケラブルな位置情報管理方法の GLS[9] や Cricket[10] などがある。GPSR と Directed Diffusion の違いは、GPSR がもともとある DSR などのノード・ベースのルーティングの一つであり、ルータや目的地ノードの地理的な情報を近傍ノードとだけ交換することによりスケラブルにパケットを配送するというアプローチであるのに対して、Directed Diffusion は属性ルーティングを行なっているという点である。属性ルーティングでは、属性と値のペアの集合によって interest を記述したリクエスト・パケットを flooding し、その interest にマッチしたノードがリプライを返すとい

表 1: Interest 要求と Event Sample リプライ

Interest Request

Attribute	Value	Comment
type	four-legged animal	detect animal location
interval	20 ms	send back events every 20 ms
duration	10 seconds	.. for the next 10 seconds
rect	-100, 100, 200, 400	from sensors within rectangle

Event Sample Reply

Attribute	Value	Comment
type	four-legged animal	detect animal seen
instance	elephant	instance of this type
location	[125, 220]	node location
intensity	0.6	signal amplitude measure
confidence	0.85	confidence in the match
timestamp	01:20:40	event generation time

うものである。一方、GPSR ではあくまでパケットを届ける先のノードは決まっておき、そのノードに対しての送信であるという点での違いがある。

Directed Diffusion が実現しているのは、interest リクエストの発信元ノード (以後 sink ノードと呼ぶ) が前述の属性と値のペアの集合によって interest を記述したリクエスト・パケットを flooding し、その interest にマッチしたセンサノードから、そのセンサが取得するデータ (event sample) を周期的に配信するというものである。以下に Directed Diffusion が利用する interest と event sample の記述例を示す。

最初の interest リクエストは flooding であり、マッチしたセンサノードからのリプライ (event sample) も始めのうちは flooding に近い形で戻ってくる。しかしこのリプライの内容をアプリケーションごとに評価方法を与えてやる。例えば、同じ内容のリプライがノード A とノード B からフォワードされてきた場合、時間的に先に到着したリプライの方を高く評価するなどの手法が考えられる。これによってリプライパケットをさらに下流のノードにフォワードしているノードが、自分に「有用な」リプライパケットをフォワードしてくる上流ノードに対してそのことを伝えてやるようにする。それを受けた上流ノードは自分が転送すべきフォワード先の候補に対して「傾き」(gradient) を与えてやり、次第にリプライパケットを流すべきルートが「増強」(reinforcement) されていく。Directed Diffusion では、始めに自分の interest にマッチする事象が起きているかどうかわからないときにはリプライの頻度

を少なく指定しておく。interest には有効期限が指定されているので、sink ノードでは interest の周期的に flooding を続ける (refresh)。その後、interest にマッチしたノードからのリプライが届き、興味のある事象が起きていることがわかるとその頻度を上げた要求を徐々に送ることによって reinforcement を起こしていくという手法をとる。

3.2 省電力ネットワーク構成技術

センサネットワークのような各ノードがバッテリーで駆動することを前提としたシステムでは省電力は重要な達成目標である。これは発生するパケットを極力押えることはもちろんであるが、特定のノードに処理が集中しないようにすることによって全ノードのバッテリーが公平に消費されていくことも実現しなければならない。MANET において、このような省電力指向のネットワーク構成管理を追求したものに MIT の Span[5] がある。

Span では、通信や処理の必要のないノードはできるだけ休ませるために IEEE802.11 の Power Save(PS) モードを利用し、そのようなノードは PS モードにしてしまう。他のノードが通常モードで通信や処理を行なう。PS モードでは定期的に起動して自分の関連する通信処理があるかをポーリングして、それによる多少の通信遅延を受け入れることによってできるだけ多くの時間電力消費を避けるようになっている。Span では通常モードで動作するノードを coordinator と呼び、coordinator が PS モードのノードのためにパケットをバッファリングしたり、フォワードする役目を担う。PS モードに入っ

表 2: 無線 LAN アダプタの電力消費

送信	受信	アイドル	スリープ
1400mW	1000mW	830mW	130mW

ているノードはパケットのフォワーディングをすることはできない。またデータ通信を開始したノードは PS モードから復帰しなければならない。表 2 に Cabletron の 802.11 ネットワーク・カードの各モードでの電力消費を文献 [5] から引用する。アイドルは送信も受信もせず単にパケットがあるか聞いている状態であり、PS モードではスリープモードからのポーリングを行なっている。アイドルモードとスリープモードに大きな違いがあることがわかるであろう。

Span ではすべてのノードは HELLO パケットを定期的に近傍のノードと交換することにより、自分が coordinator になるべきかどうかを決定し、それを広告する。また一定時間 coordinator を続けると、他のノードと coordinator を交代するために PS モードに入る。これによって全ノードのバッテリーが公平に消費されることを実現する。

Span が目標としたのは、以下のような基準を極力実現することである。すなわち、PS モードに入ったノードがいたために任意の 2 つのノード間のルートが損なわれないようにすることである。具体的には、全ノードが PS モードに入っていない状況であるノード間のルートが 4 ホップで実現されるのであれば、Span においていくつかのノードが PS モードに入っていてパケット・フォワードに参加できなくても 4 ホップ程度でそのノード間のルートが存在しなければならないことを意味する。ただし、パケット・フォワードできるノードが PS モードによって減るわけなので、当然ルートの数は減少し、パケットが衝突する可能性が上がるのは避けられない。図 1 に各ノードが PS モードに入ったときの 4 ホップのルートの例を示した。(i) が Span を適用しない通常の場合で、SRC ノードから DST ノードへのルートを示している。Span により省電力管理されたときには、例えば (ii) の A 状態と (iii) の B 状態を交互に繰り返すように PS モードに入る。しかしどちらの場合もルーティングが損なわれてはいない。

Span はこのような基準を近傍のノード²と

²近傍のノードとはもちろん自分と直接通信ができるノードのことである。

HELLO パケットを交換することにより、以下のような coordinator 立候補決定条件を用いて実現している:

自分の近傍にいるノードの任意の 2 つの間で直接通信できないノードの対が存在する場合には自分が coordinator に立候補する。

この条件で自分が coordinator に立候補することが決まると、自分のバッテリーの残量と自分の近傍にいるノードの数からその立候補宣言を出すまでの遅延を算出して、それに応じて広告する。その遅延をしている間に自分より適切な候補が立候補することもありうるわけである。各ノードはこれらの判断ができるように、(i) 現在の自分のモードと、(ii) 自分が PS モードである場合には自分の coordinator と、(iii) 自分の近傍にいるノードを HELLO パケットに埋め込んで送信している。

Span は MANET のルーティング・プロトコルとは独立であるように汎用的に設計されており、通信プロトコル・レイヤ的には IEEE802.11 の MAC レイヤと MANET のルーティング・プロトコル・レイヤの間に組込まれている。更に MAC レイヤやルーティングプロトコル・レイヤとの連携による改良(若干のレイヤ・アグリゲーション)がなされている。

Directed Diffusion ではセンサノードの failure への適応は考慮して評価しているがセンサノードに移動性を与えていない。また Span は MANET 一般において性能を発揮できるように設計されているので、センサネットワーク的な利用の観点からでは、更に拡張や最適化の余地を残しているものと我々は考えている。次節ではそれらの可能性について考察する。

4 Improvised Network での適用技術

我々の Improvised Network でも、プロトコル・レイヤの構造は基本的に Span のように IEEE 802.11 の MAC レイヤと MANET のルーティング・プロトコル・レイヤの間に Span のような省電力指向のネットワーク構成管理レイヤを入れる形をベースとする。Span ではその性能評価のためにルーティング・レイヤに GPSR のような³geographic forwarding を採用して評価しているが、我々はそこに Directed Diffusion のような属性ルーティング・レイヤを置く。

³ただし、フォワードする適切な coordinator がいないときには強制的に non-coordinator を coordinator にして void 状態になることを避けている。

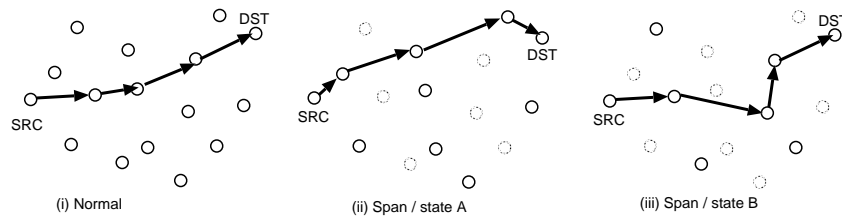


図 1: Normal vs Span route

前述のように Span は MANET 一般のネットワークに適用可能なように設計されているが、我々はセンサネットワーク的な問題設定をもってそこに省電力指向のネットワーク構成管理レイヤを導入するので、この一般性はそれほど重要ではない。よって、以下で述べるようなレイヤ・アグリゲーションによる最適化を図る。

4.1 属性ベース・ルーティング技術

属性ベース・ルーティングとノードベース・ルーティングの大きな違いは、何と何の通信を実現するのかであり、まず我々もそれを考慮する必要がある。ノードベース・ルーティングにおいてはノードとノードが通信しており、属性ベース・ルーティングでは属性情報がマッチしたノード（以後、属性情報がマッチしたノードの周辺領域をホットスポットと呼ぶ）と interest リクエストを出した sink ノードが通信している。ただし、Directed Diffusion の場合には、たとえノードの移動性がないとしても、sink ノードが interest リクエストの refresh を行なうので、その度にマッチするノードが入れ替わる可能性はある。以下、整理すると、センサネットワークにおける属性ルーティングでは interest リクエストを出す sink ノード、それを受けとりリプライ (event sample) を生成するホットスポット（もしくはそこにいるノード）、最後にそのリプライを受けとるノードもしくは別のホットスポットの 3 者の関係である⁴。我々は、sink ノードとホットスポットとの通信を効率的に行なうためにホットスポットを移動クラスタによって管理する手法を以下で考察する。

4.1.1 ホットスポットのクラスタ管理

ホットスポットを効率良く観測するためにホットスポットに位置するセンサノードによってクラスタを形成して管理する。このクラスタの定義は興味のある事象を直接観測しているセンサノード（これを

⁴最後のリプライを受けとるノードは通常 sink ノードであるが、アプリケーションによってはこの記述のように別のホットスポットに転送してしまうような例も考えられよう。

クラスタ・センタという) とそのようなセンサノードの近傍にいるノード（これをクラスタ・フロンティアという) によって構成される。近傍の定義は前述したように直接通信できることである。このようにして形成されたクラスタには、構成ノードと事象に移動性があることから移動性がある。このクラスタの地理的な位置は事象の地理的な位置に連動し、その地理的な位置にいるノードによって構成されることになる。各センサノードは事象を直接観測してクラスタ・センタになるか、クラスタ・センタからの HELLO パケットによりクラスタ・フロンティアになったことを知る。図 2 に、あるホットスポットのクラスタの状況を示した。中央のハッチした部分をセンサがカバーすれば興味ある事象が観測できるとして、実線の小円がセンサのカバー範囲を、破線の大円が無線が直接とどく範囲を示している。このとき黒くなっているノードがクラスタ・センタであり、灰色のノードがクラスタ・フロンティア、白いノードがクラスタ外のノードである。

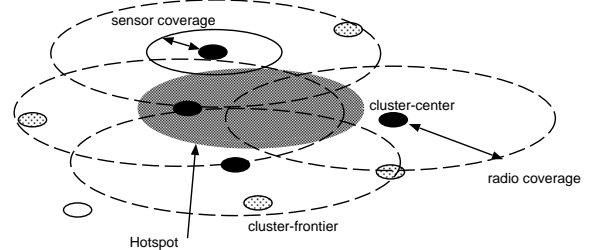


図 2: Hotspot Cluster

なお本クラスタ自体には識別できる ID は与えない。ネットワーク全域で固有な ID を与える操作はローカルには処理できず重い処理になる上に、このクラスタに属するセンサノードも刻々と入れ替わりがありえ、更なるその管理が困難になるためである。ID が無いことの補強については次節で述べる。

4.1.2 クラスタによる in-network 処理

このクラスタはリプライ・パケットの in-network 処理のためにも利用される。in-network 処理とは、各センサ・ノードが感知した情報をそのまますべて sink ノードに送信するのではなく、センサ・ノードから sink ノードに到達する間で集計などの処理を行ないトラフィックの低減を図るものである。クラスタ・センタであるセンサノードはセンサの sample 周期ごとにその event sample を送信するが、そのときの送信先は sink ノードではなく、HELLO パケットのように近傍にいるセンサノードにのみ宛てたものとする。sink ノード宛てのリプライ・パケットは近傍の event sample を受信したクラスタ・センタが自律的に判断して送信するかどうかを決める。この際、送信することになったクラスタ・センタは自分が最近に収集した近傍のセンサノードの情報を集計することによってリプライ・パケットを生成する。どのクラスタ・センタが送信するか判断には、各自が収集した最近のセンサのデータを比較することによって、例えば最も信号強度の高いもの上位 2 個に自分のものが入っていれば行なうことにするなどが考えられる。この場合には、できるだけ長い期間クラスタ・センタであり続けるセンサ・ノードが集計して送信することになるが、公平に省電力するという観点からはクラスタ・センタ間で交代して送信することも考えられる。

クラスタ内に制限した flooding は、パケット内の情報を in-network 処理のような高位のレイヤが利用することによって行なうアプリケーション・レイヤでの flooding によって実現する。

4.1.3 Sink ノードとホットスポット間通信

Sink ノードからの interest リクエストの送信はどこにホットスポットがあるかが不明な初期には flooding が必要になるが、追跡している事象が連続性をもつ場合には、一度ホットスポットが判明し、そこでクラスタが形成されていることがわかれば、以降はそのクラスタにいるノードに sink ノードは interest の refresh を通信することとなる。この interest の refresh はホットスポットからのリプライ・パケットに位置情報を追加しておくことによって単純な geographic forwarding で効率的に到達させることが可能である。refresh を受けた(おそらく)クラスタ・フロンティアはクラスタ内ノードに限定した flooding で interest の継続情報を管理し、クラスタ・センタは interest の変更があった場合にクラ

スタ内へのその変更の周知に責任をもつ。

ホットスポット内のクラスタで集計されたリプライ・パケットは適切なクラスタ・センタから sink ノードへ向けて送信される。ここでは通常の Directed Diffusion のような属性ベース・ルーティングを利用することができ、より省電力性を指向するのであれば、より無駄の packets の発生しにくい GPSR などの geographic forwarding を利用することもできる。図 3 に Improvised Network での通信動作の概要を示した。

4.2 省電力ネットワーク構成技術

Span では MANET 全般に汎用的に省電力ネットワーク構成管理を提供できる機構を実現している。これは時々刻々 coordinator が交代しながら、coordinator がネットワーク全体のバックボーンを構成するととらえるとわかりやすい。この場合、ネットワーク中のどのノードにとっても平等に機能するようになっているが、我々が対象としているようなセンサネットワークのようにホットスポットに限られており、その情報を必要とする sink ノードもまた限定されているような状況では、更に最適化をはかることが可能である。sink ノードの存在しない領域やホットスポットではないような領域では coordinator はさらに休ませることができ、逆にホットスポットではさらに coordinator を増強すべきである⁵。つまり、ホットスポット・クラスタに所属したセンサノードは、それが non-coordinator ノードであっても PS モードに入ることを禁止し、ホットスポット以外のエリアでは coordinator ノードに PS モードに入ることを許すことにする。

Improvised Network でのレイヤ・アグリゲーションでは、ホットスポットにいる各センサノードには PS モードに入ることを禁止する。前節で導入したクラスタ・フロンティアはホットスポットでのクラスタを構成するセンサノードであるので PS モードに入ることは許されない。これによりクラスタの(もしくは興味の対象である標的の)移動やクラスタ・センタへの役割交代が graceful に行なわれるようになる。またホットスポット周辺以外のセンサノードには何らかの条件で PS モードに入ることを許すようにすることによって実装する。ここでいう条件とは、例えば flooding パケット以外のパケットを受信した coordinator に一定期間 PS モードに入ることを禁止し、その期間に flooding パケットしか受信し

⁵Span では sink ノードは必ず coordinator となる。

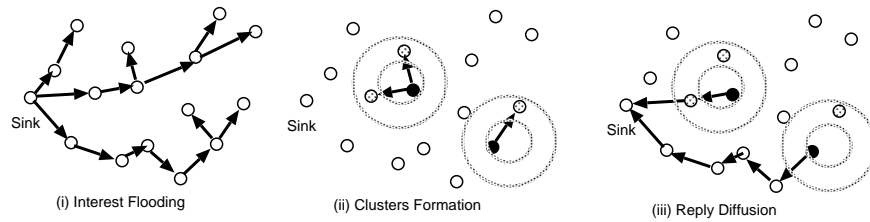


図 3: Improvised Network Schematic

なかった場合には PS モードに入るようにするなど考えられる。

5 おわりに

本稿では、センサネットワーク的な応用を前提としたノードに移動性のある無線アドホックネットワークにおいて省電力指向ネットワーク構成管理を考察した。センサネットワーク的な応用にもとづいて我々が対象とする問題設定を行ない、そこに適用可能な既存技術として Directed Diffusion と Span について検討した。それらを用いて我々の設定した問題に適したホットスポットの移動クラス管理方式を提案した。更にそれに基づいたレイヤ・アグリゲーションを Span の省電力機構との間で検討した。今後は、本稿で提案した移動クラス方式や省電力機構の実装評価を ns-2 を利用したシミュレーション環境と携帯端末を利用した実機環境の両方で行なっていく。特に Directed Diffusion では sink ノードの移動性についてはほとんど考えられていないので、それについても評価する。また、ノードの移動について標的の追跡に最適化したような移動を行なえるように仮定することも考えられ、このようなアプリケーション協調型移動の問題も視野に入れていきたい。

参考文献

- [1] Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications, Aug. 1999. IEEE 802.11 Standard (IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee).
- [2] <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- [3] C. Perkins: "Ad-Hoc Network," Addison and Welsley Co., 2000.
- [4] 西尾, 徳田: "Improvised Network 構築のための基盤技術," 情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 89-4, pp.25-32, 2002.
- [5] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan and R. Morris: "Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in Ad Hoc wireless networks," in *Proc. of 7th Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.85-96, Rome, Italy, 2001.
- [6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin: "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," in *Proc. of 6th Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.56-67, Boston, MA., 2000.
- [7] B. Karp and H.T. Kung: "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. of 6th Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.243-254, Boston, MA., 2000.
- [8] A. Savvides, C-C. Han and M.B. Strivastava: "Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc network of sensors," in *Proc. of 7th Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.166-179, Rome, Italy, 2001.
- [9] J. Li, J. Jannotti, D.S.J. De Couto, D.R. Karger and R. Morris: "A scalable location service for geographic ad hoc routing," in *Proc. of 6th Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.120-130, Boston, MA., 2000.
- [10] N. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan: "The Cricket Location-Support System," in *Proc. of 6th Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.32-43, Boston, MA., 2000.