

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6927072号
(P6927072)

(45) 発行日 令和3年8月25日 (2021.8.25)

(24) 登録日 令和3年8月10日 (2021.8.10)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 W 40/02 (2009.01)

H O 4 W 40/02 1 3 0

H O 4 L 12/733 (2013.01)

H O 4 L 12/733

H O 4 W 4/38 (2018.01)

H O 4 W 4/38

H O 4 W 84/20 (2009.01)

H O 4 W 84/20

H O 4 W 40/34 (2009.01)

H O 4 W 40/34

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-21370 (P2018-21370)
 (22) 出願日 平成30年2月8日 (2018.2.8)
 (65) 公開番号 特開2019-140497 (P2019-140497A)
 (43) 公開日 令和1年8月22日 (2019.8.22)
 審査請求日 令和2年3月12日 (2020.3.12)

(73) 特許権者 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100124844
 弁理士 石原 隆治
 (72) 発明者 松浦 洋
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日
 本電信電話株式会社内

審査官 石田 信行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 経路選択装置、経路選択方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のセンサーノードを含む複数のノードで構成されたセンサーツリーにおいて、下位のノードからのセンサーレポートをパケットに格納して上位のノードに送信する際の経路を選択する経路選択装置であって、

前記センサーツリーの中で配下に子ノードを保持する第1のノードを選択し、当該第1のノードを頂点とするサブツリーの配下の第2のノードを、当該サブツリーに属さない第3のノードの配下に移動したときに、前記センサーツリーにおいて送受信されるパケット総数が減る場合、前記センサーツリーにおいて前記第2のノードを前記第3のノードの配下に移動するが、前記第1のノードを頂点とするサブツリーの配下のすべてのノードに対して、ノードが移動したときのパケット総数の変化を求め、パケット総数が最も減少するノードを移動するノード移動部

を有する経路選択装置。

【請求項 2】

前記ノード移動部は、前記第1のノードが作成するセンサーレポート数と当該ノードが転送する下位ノードの合計センサーレポート数との和を、センサーレポートをパケットに集約するデータ集約レートで割った剰余が1以上のノードを対象として、前記第1のノードを選択する。請求項1に記載の経路選択装置。

【請求項 3】

前記ノード移動部は、前記センサーツリーにおいてノードの移動を繰り返し行う場合、

10

20

ノードがサブツリーの頂点として選択される回数に上限を設定する、請求項 1 又は 2 に記載の経路選択装置。

【請求項 4】

前記ノード移動部は、前記センサーツリーにおいてノードの移動を繰り返し行う場合、ノードが移動する回数に上限を設定する、請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の経路選択装置。

【請求項 5】

複数のセンサーノードを含む複数のノードで構成されたセンサーツリーにおいて、下位のノードからのセンサーレポートをパケットに格納して上位のノードに送信する際の経路を選択する経路選択装置における経路選択方法であって、

10

前記センサーツリーの中で配下に子ノードを保持する第 1 のノードを選択し、当該第 1 のノードを頂点とするサブツリーの配下の第 2 のノードを、当該サブツリーに属さない第 3 のノードの配下に移動したときに、前記センサーツリーにおいて送受信されるパケット総数が減る場合、前記センサーツリーにおいて前記第 2 のノードを前記第 3 のノードの配下に移動するが、前記第 1 のノードを頂点とするサブツリーの配下のすべてのノードに対して、ノードが移動したときのパケット総数の変化を求め、パケット総数が最も減少するノードを移動するステップ

を有する経路選択方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の経路選択装置の各部としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のセンサーノードを含む複数のノードで構成されたセンサーツリーにおける経路選択装置、経路選択方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

特定の場所にセンサーを配置し、対象地の湿度、温度、気体濃度等をセンサーノードによって計測し、そのセンサーレポートをデータ収集ツリーで収集し、ルートセンサーノードからベースステーションに通知することによって分析を行う、あるいはガスメータ、電気メータなどの情報を定期的にデータ収集ツリーで収集する、ことを可能にする技術として、RPL (Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks) プロトコルが標準化されている (例えば、非特許文献 1 参照)。データ収集ツリーは、ツリー状に構成されたセンサーノードと、センサーノード間に位置してセンサーレポートを中継する役割を果たすリレーノードとの集合であり、センサーツリーとも呼ばれる。

30

【0003】

データ収集ツリー上の各センサーノードは収集サイクル毎に当該センサーからの必要数のセンサーレポートを、ツリー上で当該ノードのすべての下位センサーノードからのセンサーレポートと一緒にパケットにまとめてツリーの上位センサーノードに送信する。1 パケットに格納できるセンサーレポート数には上限 (データ集約レート: S) があるため、各センサーノード/リレーノードが送信するパケット数は、当該センサーノード/リレーノードが送信する必要があるセンサーレポート数と S から導かれる。

40

【0004】

またセンサーノード/リレーノード i (ノード i) の 1 データ収集サイクルにおけるエネルギー使用量: $E(i)$ を以下の式 1 によって表すことができる。

$$E(i) = E_{Tx} \times T_N(i) + E_{Rx} \times R_N(i) \quad (\text{式 1})$$

式 1 において、 E_{Tx} は 1 センサーパケットの送信に必要とされるエネルギー量、 E_{Rx} は 1 センサーパケットの受信に必要とされるエネルギー量、 $T_N(i)$ はノード i が 1 データ収集サイクルに必要な送信パケット数、 $R_N(i)$ はノード i が 1 データ収集サイクルに必要な受信パ

50

ケット数である。ノード*i*自身が作成する1データ収集サイクルのセンサーレポート数を*d(i)*、ノード*i*が転送するツリー上で下位のノードすべてのセンサーレポート数の合計を*d(below_i)*とすると $T_N(i)$ は以下の式2及び式3で表される。

$$T_N(i) = (d(below_i) + d(i)) / S, \quad ((d(below_i) + d(i)) \% S = 0 \text{ の場合}) \quad (\text{式2})$$

$$T_N(i) = (d(below_i) + d(i)) / S + 1, \quad ((d(below_i) + d(i)) \% S \neq 0 \text{ の場合}) \quad (\text{式3})$$

式2及び3において、"/"は割り算の商を示し、"%"は割り算の剰余を示す。式2及び式3から剰余が0以外のときには送受信されるパケットに空きがあることが分かる。そのため、各リンクにおけるパケットの空きを少なくすることもパケット数削減に有効な手段であると考えられる。

【0005】

10

ツリーT全体の1データ収集サイクルにおけるエネルギー使用量合計： E_{tree} は、すべてのツリーノードの1データ収集サイクルのエネルギー使用量を足し合わせたものなので、以下の式4によって表すことができる。

$$E_{tree} = \sum_i T_N(i) E(i) \quad (\text{式4})$$

特に屋内に設置されるセンサーでは、各センサーが使用する電力はACアダプターから供給されるが、その場合センサーに提供される電力総和をなるべく少なくすることが電力削減の目的で必要となる。そのため式4で表される E_{tree} を最小にする方式が検討されている（非特許文献2参照）。非特許文献2では2つの問題に対処している。一つはMECAT（Minimum Energy Cost Aggregation Tree）問題であり、この問題はセンサーレポートを発生せずツリー上の下位センサーノードのセンサーレポートだけを転送する目的で使われるリレーノードが存在しないWSN（Wireless Sensor Network）を対象とするツリーノード（ツリー上のノード）が利用するエネルギー総和の最小化問題である。もう一つはMECAT-RN（MECAT with Relay Node）問題であり、この問題はWSNにおいてリレーノードを含めてのすべてのツリーノードが使用するエネルギー総和の最小化問題である。

20

【0006】

上記の式1で、 E_{Tx} と E_{Rx} は固定値であるため、リレーノードが存在しないWSN及びリレーノードを含むWSNともに、ツリー上のすべてのリンク（ツリーノードがセンサーレポート転送のために使う隣接関係）上で送受信されるパケット数総和を最小にすることがMECAT問題及びMECAT-RN問題と同値である。つまりMECAT問題及びMECAT-RN問題は次式5と同値であり、 E_{Tx} と E_{Rx} は固定値なので、式6と同値である。

30

【0007】

【数1】

$$\min_{T \in T(G)} \sum_{e \in E_T} (E_{Tx} + E_{Rx}) \lceil \frac{z(e)}{S} \rceil \quad (\text{式5})$$

40

【0008】

【数2】

$$\min_{T \in T(G)} \sum_{e \in E_T} \lceil \frac{z(e)}{S} \rceil \quad (\text{式6})$$

50

式 5 及び式 6 において G は当該 WSN を示し、 $T(G)$ は、 G 上のツリー集合を示す。また、 e はツリー上のリンクを示し、 $z(e)$ は e 上で 1 データ収集サイクルで送信されるセンサーレポート数を示すので、もし e 上の送信ノードを i とした場合は $z(e) = d(\text{below}_i) + d(i)$ が成り立つ。

【 0 0 0 9 】

図 1 にデータ収集ツリー上のリンクのパケット数の例を示す。ここで、データ集約レート S は 5 としている。またノード 0 はルートノードを示し、 N で始まる のノードはセンサーノード、 のノードはリレーノードを示している。各ノード内の括弧内の数字は当該ノードから発生するセンサーレポート数： $d(i)$ を示し、その横の下線の数字は $d(\text{below}_i)$ を示している。ノード間の実線 はツリー上のリンクを示し の方向はパケットの送信方向を示している。ツリー上のリンク横の数字は 1 データ収集サイクルにおいて当該リンク上で送信されるパケット数を示している。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【 0 0 1 0 】

【非特許文献 1】T. Winter, et al., "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks", RFC6550, IETF, March 2012.

【非特許文献 2】Tung-Wei Kuo, Kate Ching-Ju Lin, and Ming-Jer Tsai, "On the Construction of Data Aggregation Tree with Minimum Energy Cost in Wireless Sensor Networks: NP-Completeness and Approximation Algorithms", IEEE Transactions on Computers, vol. 65, issue 10, pp. 3109-3121, 2016.

20

【非特許文献 3】S. Khuller, B. Raghavachari, and N. Young, "Balancing minimum spanning trees and shortest-path trees", Algorithmica, vol. 14, pp. 305-321, 1995.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 1 】

非特許文献 2 は、ランダムに作成した最短経路ツリーが MECAT 問題には有効であり、最短経路ツリーでは最適解（すべてのツリーノードが利用する総エネルギー消費の最小値）の 2 倍以内のセンサーの総エネルギー消費で抑えられていることを証明している。ここで、最短経路ツリーとはツリー上の各センサーノードがルートノードから最小ホップ数を取るツリーのことである。例えば、図 2 において（1）は、WSN 上でのノード間の隣接関係を点線で示している。ここで隣接関係とは、通信（接続）が可能な関係をいい、例えば、一方のノードが、他方のノードからの電波信号（例えば、RSSI（Received Signal Strength Indicator））の到達範囲内に有る関係をいう。なお、各ノードの横の括弧内数字は当該ノードが 1 データ収集サイクルで報告するセンサーレポート数である。この WSN 上で作成されたセンサーツリー例が（2）～（4）で示されている。

30

【 0 0 1 2 】

（2）は最短経路ツリーの一例であり、ツリー上のノードの上下関係（リンク）は実線で示されており、この上下関係を用いて、センサーレポートがツリーに沿ってルートノードであるノード 0 まで伝達される。（2）に示すようにツリー上のすべてのノードはノード 0 までの最小ホップ経路上にある。（3）も最短経路ツリー例であり、（2）以外にも最短経路ツリーは複数存在することがわかる。（4）は最短経路ツリーではないツリー例を示している。この例では、ノード 5 からノード 0 までのツリー上のホップ数が 3 であるが、最小ホップ数は 2 であるので、最短経路ツリーではない。

40

【 0 0 1 3 】

非特許文献 2 では、各ノードが報告するセンサーレポート数に関わらず、最短経路ツリーの場合は式 6 で示されるセンサーツリーの総エネルギーが最適解（最小エネルギー）の 2 倍以内に抑えられることを証明している。

【 0 0 1 4 】

また、非特許文献 2 では MECAT-RN 問題については LAST（Light Approximate Shortest-p

50

ath Tree) アルゴリズム (非特許文献 3 参照) を適用することが有効であることを示している。LAST アルゴリズムにはパラメータ: α , β があり、 (α, β) -LAST で作成されたツリーでは、ツリー上の各ノードでルートノードからの距離がルートノードからの最短経路の α 倍以内、ツリー全体のコスト (ツリーリンクコストの総和) が MST (minimum spanning tree) のツリーコストの β 倍以内であることが保証される。非特許文献 2 ではリレーノードを含む WSN 上で、 $(3, 2)$ -LAST を適用して作成したツリーは最適解 (最小エネルギーツリー) の 7 倍以内の総エネルギー量に抑えられることを証明している。

【0015】

図 3 及び図 4 に $(3, 2)$ -LAST の MECAT-RN 問題への適用例を示す。図 3 (1) は、リレーノード (RN: r) を含む WSN を示す。リレーノードは、隣接関係のないセンサーノード間を中継する役割を果たし、リレーノード自体はセンサーレポートをルートノード 0 に送信しないことが特徴である。まず (2) でリレーノードを含まないセンサーノード間の論理リンクを作成する。論理リンクはリレーノードを除いたセンサーノード間の繋がりを示している。この際、各論理リンクコストはセンサーノード間のリレーノードを含めた最小ホップ数である。(2) で論理リンクコストは各論理リンクの横に記されている数字であるが、数字が記されていないリンクはすべてリンクコスト = 3 である。(3) 及び (4) は $(3, 2)$ -LAST アルゴリズムの適用であり、まず (3) で (2) のネットワークで MST を作成する。MST はすべてのノード (センサーノード 0 ~ 5) にまたがるツリーを構成する論理リンクコスト和が最小のツリーであり、Prim のアルゴリズム等が用いられる。

【0016】

$(3, 2)$ -LAST の特徴である (4) では、MST 上の各ノードでの最短経路コストの比較が行われ、もし MST 上の経路 $> (3 \times \text{ルートノードからの最短経路})$ の条件を満たす場合はルートノードからの最短経路に MST 経路が置き換えられる。この例では MST 上のノード 5 とノード 2 までの経路が最短経路に置き換えられていることがわかる。(5) では (4) での $(3, 2)$ -LAST アルゴリズムの結果作成されたツリーをリレーノードを含めて展開した結果を示している。もし (5) の結果でノード 0 からの経路が、あるノードに対して複数存在する場合は、その内の最短経路を選択するが、図 3 の例では各ノードで経路が一意に定まる。

【0017】

図 4 では、リレーノードに分解した結果で一つのノードに対して複数の経路が出る場合の対処法を示す。この例でも同様に、(2) でリレーノードを含まないセンサーノード間の論理リンクを作成する。(2) で論理リンクコストは各論理リンクの横に記されている数字であるが、数字が記されていないリンクはすべてリンクコスト = 2 である。(3) で (2) で設定した論理リンクを基に MST を作成する。この例では MST 上の経路 $> (3 \times \text{ルートノードからの最短経路})$ の条件を満たすノードが存在しないので、(3) の結果をそのままリレーノードを含めて (4) で展開している。しかし、ノード 1 ~ 4 は、ルートノード 0 までの経路が 2 つあることが判る。その場合は、ノード 1 から順に最短経路を選択する。ノード 1 からの最短経路はリレーノード (r_1) を介するノードなのでノード 1 とノード r_2 の間のリンクは削除される。その結果、各ノードからノード 0 までの経路が一意に定まり (5) の最終ツリーが生成される。

【0018】

従来方式では、MECAT 問題では最適解の 2 倍以内、MECAT-RN 問題では最適解の 7 倍以内のエネルギー使用量が上限になることが非特許文献 2 で証明されているが、逆に最大使用エネルギーが MECAT 問題では最大で 2 倍に増え、MECAT-RN 問題では最大で 7 倍に増えることが懸念される。これらの最適解からの使用エネルギーの増分を減らす方式は提案されていない。

【0019】

また従来方式では、MECAT 問題及び MECAT-RN 問題共に、各センサーノードが送信するセンサーレポート数: $(d(\text{below}_i) + d(i))$ に応じてツリーの構成を変えることをしていない。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであって、センサツリーのノードを移動してセンサツリーの構成を変えることにより、センサツリー上のノードのエネルギー使用量を削減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 1 】

本発明の一形態に係る経路選択装置は、

複数のセンサノードを含む複数のノードで構成されたセンサツリーにおいて、下位のノードからのセンサレポートをパケットに格納して上位のノードに送信する際の経路を選択する経路選択装置であって、

前記センサツリーの中で配下に子ノードを保持する第1のノードを選択し、当該第1のノードを頂点とするサブツリーの配下の第2のノードを、当該サブツリーに属さない第3のノードの配下に移動したときに、前記センサツリーにおいて送受信されるパケット総数が減る場合、前記センサツリーにおいて前記第2のノードを前記第3のノードの配下に移動するが、前記第1のノードを頂点とするサブツリーの配下のすべてのノードに対して、ノードが移動したときのパケット総数の変化を求め、パケット総数が最も減少するノードを移動するノード移動部

を有することを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

また、本発明の一形態に係る経路選択方法は、

複数のセンサノードを含む複数のノードで構成されたセンサツリーにおいて、下位のノードからのセンサレポートをパケットに格納して上位のノードに送信する際の経路を選択する経路選択装置における経路選択方法であって、

前記センサツリーの中で配下に子ノードを保持する第1のノードを選択し、当該第1のノードを頂点とするサブツリーの配下の第2のノードを、当該サブツリーに属さない第3のノードの配下に移動したときに、前記センサツリーにおいて送受信されるパケット総数が減る場合、前記センサツリーにおいて前記第2のノードを前記第3のノードの配下に移動するが、前記第1のノードを頂点とするサブツリーの配下のすべてのノードに対して、ノードが移動したときのパケット総数の変化を求め、パケット総数が最も減少するノードを移動するステップ

を有することを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

また、本発明の一形態に係るプログラムは、

上記の経路選択装置の各部としてコンピュータを機能させることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 2 4 】

本発明によれば、センサツリーのノードを移動してセンサツリーの構成を変えることにより、センサツリー上のノードのエネルギー使用量を削減することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 5 】

【図1】データ収集ツリー上のリンクのパケット数の例を示す図である。

【図2】従来方式においてMECAT問題に適用される最短経路ツリーを説明するための図である。

【図3】従来方式における(3,2)-LASTアルゴリズムのMECAT-RN問題への適用例(その1)を示す図である。

【図4】従来方式における(3,2)-LASTアルゴリズムのMECAT-RN問題への適用例(その2)を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態における経路選択装置の機能構成例を示す図である。

【図6】本発明の実施の形態における経路選択装置の動作を示すフローチャートである。

【図7】MECAT問題に適用したときのノード移動例である。

10

20

30

40

50

【図 8】MECAT-RN問題に適用したときのノード移動例である。

【図 9】本発明の実施の形態における経路選択装置のハードウェア構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。図 5 は、本発明の実施の形態における経路選択装置 100 の機能構成例を示している。

【0027】

本実施の形態では、複数のノード（センサーノード/リレーノード）で構成されたセンサーツリーにおいて、下位のノードからのセンサーレポートをパケットに格納して上位のノードに送信するデータ収集サイクルを繰り返すネットワーク利用形態について説明する。本実施の形態は、リレーノードが存在しないWSNにも適用可能であり、リレーノードを含むWSNにも適用可能である。

【0028】

上記のように、リレーノードが存在しないWSNを対象としたMECAT問題では、エネルギー使用量が最適解の 2 倍まで増える可能性があり、リレーノードを含むWSNを対象としたMECAT-RN問題では、エネルギー使用量が 7 倍まで増える可能性がある。一方、図 1 の例でもわかるように各ノードのレポートサイズには違いがあり、より大きなレポートサイズを持つノードはなるべくルートノードまでのツリー上のリンク数をより少なくした方がエネルギーの節約になる。また、 $(d(\text{below}_i) + d(i))\%S$ の剰余が 0 以外のときは送受信されるパケットに空きがあるので、各パケットに収容できるセンサーレポート数 S になるべく埋まるようにした方がエネルギーの節約になる。経路選択装置 100 は、このような観点でセンサーツリーのノードを移動し、エネルギー使用量を削減できる経路を選択する。

【0029】

図 5 に示すように、経路選択装置 100 は、ノード情報取得部 110 と、ルーティング要求部 120 と、ルート決定部 130 と、WSN格納部 140 と、ツリー格納部 150 とで構成される。また、ルート決定部 130 は、WSN認識部 131 と、初期ツリー作成部 132 と、センサーレポート数計算部 133 と、ノード移動部 134 とを含む。この例では経路選択装置 100 はルートノード (0) に含まれるが、経路選択装置 100 は必ずしもルートノードに含まれる必要はなく、例えば、いずれかのセンサーノード/ルートに含まれてもよく、ベースステーション等のルートノードに接続された装置に含まれてもよい。

【0030】

ノード情報取得部 110 は、ルートノードに隣接しているノードの情報を取得し、それらのノードに隣接しているノードの情報を取得する。同様にしてノードの情報の取得を繰り返し、その結果、ルートノードの所属しているWSNに所属するすべてのノードの隣接関係を取得することができる。

【0031】

ルート決定部 130 内のWSN認識部 131 は、ノードの隣接関係からWSNの構成を認識することができ、その結果としてWSN構成をWSN格納部 140 に格納する。

【0032】

初期ツリー作成部 132 は、初期ツリーを作成する。初期ツリーを作成するために、MECAT問題では最短経路ツリー、MECAT-RN問題では(3,2)-LASTアルゴリズムを使うことが 1 例として考えられる。このようにして作成された初期ツリーはツリー格納部 150 に格納される。

【0033】

センサーレポート数計算部 133 は、各ノード i が転送する下位ノードの合計センサーレポート数 $d(\text{below}_i)$ を求める。

【0034】

ノード移動部 134 は、図 6 を参照して説明するように、センサーツリーにおいて送受信されるパケット総数が減るように、センサーツリーのノードを移動する。パケット総数

は、ノード*i*が作成するセンサーレポート数 $d(i)$ と、ノード*i*が転送する下位ノードの合計センサーレポート数 $d(\text{below}_i)$ と、センサーレポートをパケットに格納するときのデータ集約レート S から求められる。初期ツリー上のノードを移動することによりパケット総数が減り、その結果、初期ツリーよりもツリー上のノードの総エネルギー消費量を抑えたツリーが作成できた場合、ノード移動部 134 は、ノードを移動した後のツリーをツリー格納部 150 に格納する。

【0035】

最終的に生成されたツリー構成は、ルーティング要求部 120 から各ノードに対してルーティングの設定を行うことで、実際のWSN上でツリーに反映される。

【0036】

次に図6のフローチャートを説明する。図6は本発明の実施の形態における経路選択装置100の動作を示すフローチャートである。

【0037】

ステップS101は、最初は初期ツリー作成部132が初期ツリーを作成するプロセスである。例えば、MECAT問題であれば最短経路ツリー、MECAT-RN問題であれば(3,2)-LAST等の既存の方式で初期ツリーが作成される。その後は、一つのノードがあるサブツリーから他のサブツリーに移動することが以下のステップS105で決まった場合は、そのノードが移動した後のツリーをノード移動部134が作成するプロセスである。センサーレポート数計算部133は、初期ツリーに対して、各ノード*i*が作成するレポート数 $d(i)$ と、各ノード*i*が転送する下位ノードの合計センサーレポート数 $d(\text{below}_i)$ を設定する。また、ノード移動後のツリーに対して、各ノード*i*が転送する下位ノードの合計センサーレポート数 $d(\text{below}_i)$ に変化があった場合に再設定を行う。

【0038】

以下のステップS102～ステップS105はノード移動部134が実行するプロセスである。

【0039】

ステップS102はステップS101で生成されたツリーの中で移動対象サブツリーの頂点ノードを決定する。このときの条件としては、頂点ノードがツリーのリーフノードではなく、少なくとも1つの子ノードを持つことである。また、ステップS101でのツリー生成後、ステップS102～S105のループでまだ選択されていないノードを選択する。

【0040】

ステップS103はステップS102でサブツリーの頂点ノードが選択できたかどうか判断する。もし選択できない場合(No)は、その時点までで作成されているツリーが最終出力ツリーとなり、処理が終了する。もしサブツリーの頂点ノードが選択できた場合はステップS104の処理に移る。

【0041】

ステップS104では当該サブツリーの頂点ノードの配下のノード(頂点ノードは含まない)で、移動によってツリー上で送受信されるパケット総数が減るノードが存在するかどうか判断する。このときの条件としては、移動先のノードが当該サブツリーに属さないことである。

【0042】

ステップS105では、ステップS104で移動によるパケット削減効果があると判断されたノードが存在する場合(Yes)は、ステップS101の処理に移り移動先のノードへの移動を行い、移動後のツリーを作成する。もし当該サブツリー配下で移動によるパケット削減効果がないと判断された場合(No)はステップS102に移り他のサブツリーの頂点ノードを探すことになる。

【0043】

<MECAT問題への適用例>

図7に本実施の形態をMECAT問題に適用したときのノード移動例を示す。この例では、図7(1)のように最短経路ツリーがすでに形成されている。図7において各ツリーノードの横に記されている(a,b)に関して、aはノード*i*自身が作成する1データ収集サイク

10

20

30

40

50

ルのセンサーレポート数： $d(i)$ の値であり、 b はノード i が転送する下位ノードすべてのセンサーレポート数の合計： $d(\text{below}_i)$ である。また、各リンク横に記されている数字は当該リンクで送信されるパケット数を示しており、データ集約レート S は5である。

【0044】

この例ではノード5を頂点とするサブツリーの配下のノード(ノード7～ノード10)の中でノード7を移動する例を示している。ノード7は、リンク(7-5)以外に4つの隣接関係を持つノードがある(ノード3、ノード4、ノード8、ノード9)。ただし、ノード8、ノード9は移動先の対象外となる。理由はノード8、ノード9がノード5を頂点とするサブツリーに属しており、移動してもノード5の配下のノードが送信するセンサーレポート数の合計： $d(\text{below}_5)$ に変化がないからである。そのため、ノード7をノード3
10
の配下に移動した場合とノード4の配下に移動した場合のツリー上のパケット総数を比較し、パケット総数がより少なくなるノードの配下への移動を行う。

【0045】

まず、ノード7をノード3の配下に移動した場合はリンク(5-2)、リンク(2-0)のそれぞれで、パケット数が1ずつ減ることがわかる。これはノード5がノード2に送信するパケット数が、式2及び式3の式に基づき、2から1に減り、ノード2がノード0に送信するパケット数が3から2に減るためである。またノード7がノード3の配下に移動した場合はノード3がノード1に送信するパケット数が1増加し2になり、ノード1がノード0に送信するパケット数には2のまま変化がない。そのため、パケット総数の減少
20
は1である。

【0046】

反面ノード7をノード4の配下に移動した結果は図7(2)に示されている。リンク(5-2)、リンク(2-0)はノード3の配下に移動した場合と同様にパケット数が1ずつ減っていることがわかる。しかし、リンク(3-1)、リンク(1-0)共に送信パケット数にノード7の移動前後で変化がないことがわかる。そのため、この移動によるパケット総数の減少は2になり、ノード3の配下に移動した場合の減少数：1よりも減少数が大きく、ノード7はノード4の配下に移動することになる。このように、あるノードが複数の隣接ノードを持つ場合で、いずれの隣接ノードに移動してもパケット総数が減る場合は、より大きくパケット総数が減る隣接ノードの配下に移動する。図7の移動例で示されるように、パケット総数の減少数の判断はノード5と移動先の親(ノード4)が共通に持つ最も近い祖先(ノード0)までの経路のみを調べればよいことになる。つまり、(5-2-0)、(4-1-0)の2つの経路のみがこの移動によってパケット数が変わる区間なのである。この例ではたまたまルートノード0が共通祖先になっているが、最も近い共通祖先はルートノード以外の場合もある。
30

【0047】

一度このようにノードを移動した場合は、次は図7(2)のツリー上であるサブツリーの頂点ノードを選択して、そのサブツリーでパケット総数が減る移動がある場合は再度移動を行い、移動によるパケット総数の減少が存在しないツリーができるまで繰り返す。ただし、(5-2-0)、(4-1-0)の経路上のノードのように、移動により $d(\text{below}_i)$ の値が変わったノードについては図7(2)に示すように、移動の度にその値を新しい
40
値に更新する。

【0048】

<変形例>

なお、図7(1)のノード5のように、サブツリーの頂点ノードとして選択されるノード i は $(d(\text{below}_i)+d(i))\%S=0$ のように $(d(\text{below}_i)+d(i))$ をデータ集約レート S で割った剰余が0より大きいノードとしてもよい(すなわち、剰余が1以上である)。この理由は、通常当該剰余が0の場合はパケットの収容率が高いため、配下のノードを移動しても効果が少ないためである。また、このような条件を作ることにより、移動対象ノード数が減るため処理時間を短くできる可能性がある。つまり図6のステップS102～S105のルーチン数を減らすことが可能である。
50

【 0 0 4 9 】

また、選択されたノード配下のすべてのノードに対して、ノードが移動したときのパケット総数の変化を求めて、パケット総数が最も減少するノードの移動を実行してもよい。図7の例ではノード7の移動だけを調べているが、ノード5の配下のサブツリーには7から10までのノードがあるので、すべてのノードの移動可能性を調べ、もし移動した場合のパケット減少数が3以上になる場合は、ノード7ではなく他のノードを移動することとする。

【 0 0 5 0 】

また、図7におけるノード5のようなノードがサブツリーの頂点として選択される回数に上限を設定してもよい。例えば当該上限を5回とした場合はすでにノード5が5回選択された場合、ノード5はサブツリーの頂点ノードとして選択されない。この手段により特定のノードがサブツリーの頂点として過度に選択されることを防ぐとともに、処理時間を削減する効果がある。つまり、図6のステップS102～S105のルーチン数を減らすことが可能である。

10

【 0 0 5 1 】

また、各ノードの移動回数に上限を設定してもよい。例えば、当該上限回数を5回として、すでにノード7が5回移動している場合、ノード7は移動の対象外となる。この手段により特定のノードに移動が集中することを避け、処理時間を削減できる効果がある。つまり、図6のステップS104の処理負荷を軽減できる効果がある。

【 0 0 5 2 】

20

< MECAT-RN問題への適用例 >

図8に本実施の形態をMECAT-RN問題に適用したときのノード移動例を示す。この例では、図8(1)のように(3,2)-LASTアルゴリズムによって、すでにリレーノードを含めたツリーが構成されている。図8において、R1～R5はリレーノードを示し、他のノード0～5はセンサーノードを示している。実線はツリーノード間の隣接関係を示し、センサーレポートはこの実線に沿って下位ノードから上位ノードに転送され、最終的にルートノード0に送付される。点線はツリーに使用されていないノード間の隣接関係を示す。またリンクの横の数字はそのリンク上で送信されるパケット数を示しており、データ集約レートSは5である。

【 0 0 5 3 】

30

図8(1)では、ノード1がサブツリーの頂点ノードとして選択され、当該サブツリーでノード1の配下のノード(ノードR2、ノード3、ノードR3、ノード4)の中で最も移動した場合のツリー上のパケット総数の減少数が大きいものが移動される。この場合、ノード1の配下のノードの中で当該サブツリー以外のノードに対して隣接関係を持つノードはノード3、ノードR3、ノード4の3つある。ノード3をノードR5の配下に移動した場合はリンク(1-R1)とリンク(R1-0)でパケット数が1ずつ減少するが、リンク(R5-2)、リンク(2-R4)、リンク(R4-0)でパケット数が1ずつ増加するのでパケット総数は1増加する結果となり、移動対象とならない。ここで、注意するべきところは、ノード3をノードR5の配下に移動する場合はノード3の帰属がノードR2からノードR5に変わるだけなので、ノードR3とノード4もノードR5の配下のサブツリーに移動することになることである。

40

【 0 0 5 4 】

ノードR3をノードR5の配下に移動した場合はリンク(1-R1)とリンク(R1-0)でパケット数が1ずつ減少し、パケット数が増えるリンクはないことがわかる。しかし、ノード4をノードR5の配下に移動した場合はさらなる減少が得られることが判る。つまり、リンク(1-R1)とリンク(R1-0)でパケット数が1ずつ減少する上にリンク(R3-3)でもパケット数が1から0に減少するので、合計3のパケット総数の減少が得られる。そのため結果的に図8(2)に示すようにノード4はノードR5の配下に移動される。

【 0 0 5 5 】

ただし、MECAT-RN問題に特有の部分は図8(2)のノードR3のようにリレーノードの配

50

下にセンサーノードが結果的に無くなった場合はリレーノードを削除する必要があることである。つまり、リレーノードはセンサーノードのセンサーレポートを中継するために存在するので、センサーレポートを中継しなくなった時点で不要となるからである。

【0056】

なお、WSNにリレーノードが加わった場合のMECAT-RN問題に対しても、MECAT問題に関して説明した上記のすべての変形例を適用できる。

【0057】

< 本発明の実施の形態の効果 >

上記のように、MECAT問題及びMECAT-RN問題でそれぞれ最短経路ツリー、(3,2)-LAST等の既存の方式で初期ツリーを作成した後に、本実施の形態に従ってノードを移動することにより、よりセンサーツリーのノードが使う総エネルギー量を減らすことができる。

【0058】

また、移動後のパケットの増減を各ノードのセンサーレポート数： $d(i)$ 、 $(d(\text{below}_i) + d(i))\%S$ の剰余数に応じて正確に評価した後に移動するので、これらの要素を考慮してツリー構成を決めることができる。

【0066】

< ハードウェア構成例 >

図9に、本発明の実施の形態における経路選択装置100のハードウェア構成例を示す。経路選択装置100は、CPU (Central Processing Unit) 201等のプロセッサ、RAM (Random Access Memory) やROM (Read Only Memory) 等のメモリ装置202、ハードディスク等の記憶装置203等から構成されたコンピュータでもよい。例えば、経路選択装置100の機能および処理は、記憶装置203又はメモリ装置202に格納されているデータやプログラムをCPU 201が実行することによって実現される。また、経路選択装置100に必要な情報は、入出力インタフェース装置204から入力され、経路選択装置100において求められた結果は、入出力インタフェース装置204から出力されてもよい。

【0067】

< 補足 >

説明の便宜上、本発明の実施の形態に係る経路選択装置は機能的なブロック図を用いて説明しているが、本発明の実施の形態に係る経路選択装置は、ハードウェア、ソフトウェア又はそれらの組み合わせで実現されてもよい。例えば、本発明の実施の形態は、コンピュータに対して本発明の実施の形態に係る経路選択装置の機能を実現させるプログラム、コンピュータに対して本発明の実施の形態に係る方法の各手順を実行させるプログラム等により、実現されてもよい。また、各機能部が必要に応じて組み合わせて使用されてもよい。また、本発明の実施の形態に係る方法は、実施の形態に示す順序と異なる順序で実施されてもよい。

【0068】

以上、センサーツリー上のノードのエネルギー使用量を削減するための手法について説明したが、本発明は、上記の実施の形態に限定されることなく、特許請求の範囲内において、種々の変更・応用が可能である。

【符号の説明】

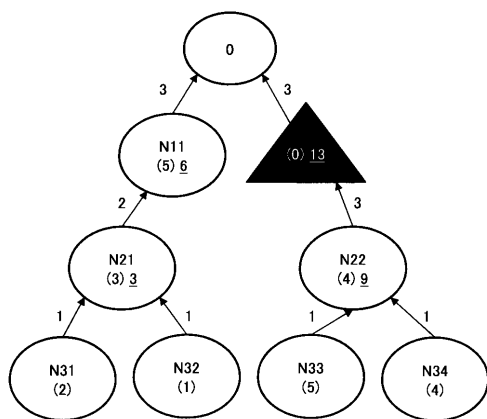
【0069】

- 100 経路選択装置
- 110 ノード情報取得部
- 120 ルーティング要求部
- 130 ルート決定部
- 131 WSN認識部
- 132 初期ツリー作成部
- 133 センサーレポート数計算部
- 134 ノード移動部

1 4 0 WSN格納部
 1 5 0 ツリー格納部
 2 0 1 C P U
 2 0 2 メモリ装置
 2 0 3 記憶装置
 2 0 4 入出力インタフェース装置

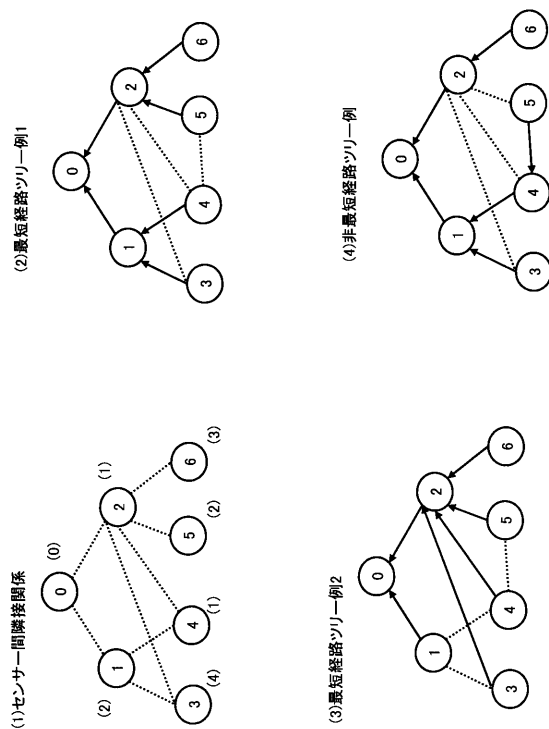
【図 1】

データ収集ツリー上のリンクのパケット数の例を示す図



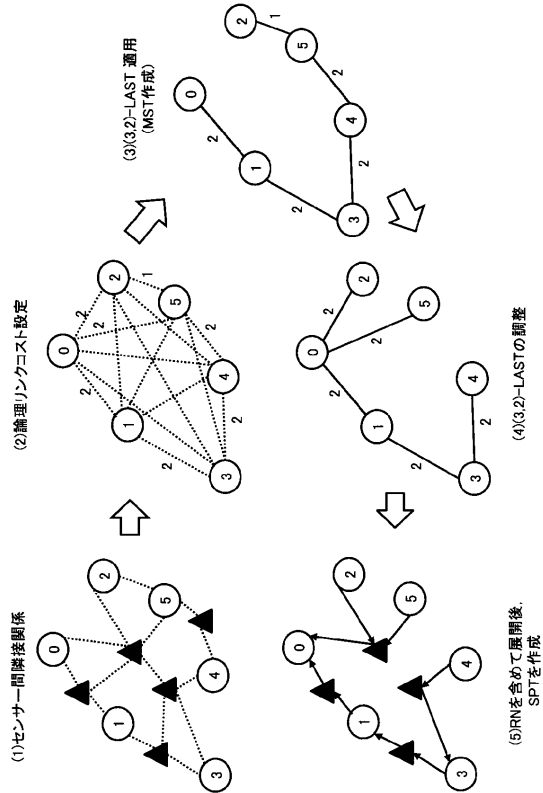
【図 2】

従来方式において
MECAT問題に適用される最短経路ツリーを説明するための図



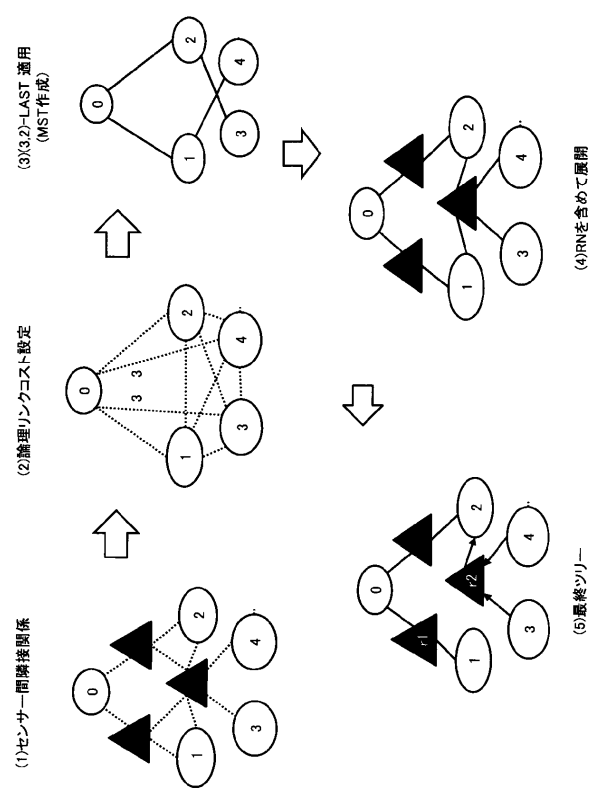
【図 3】

従来方式における
(3.2)-LASTアルゴリズムのMECAT-RN問題への適用例(その1)を示す図



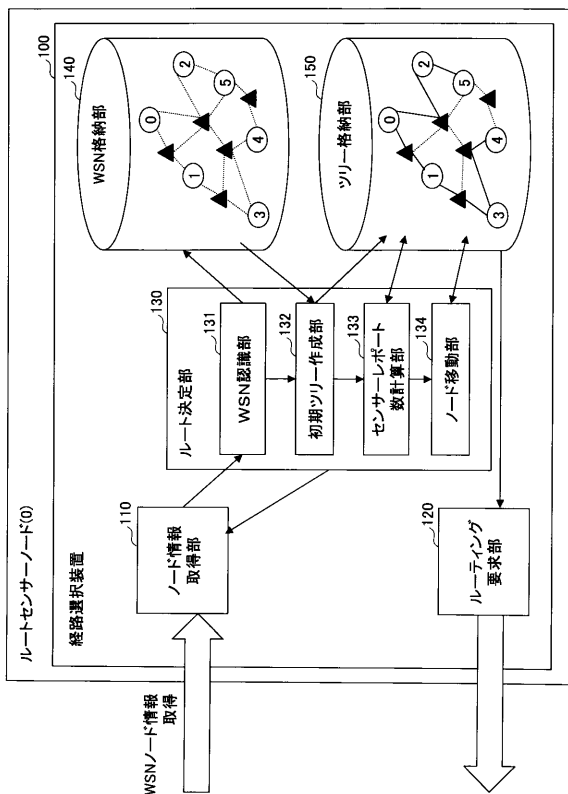
【図 4】

従来方式における
(3.2)-LASTアルゴリズムのMECAT-RN問題への適用例(その2)を示す図



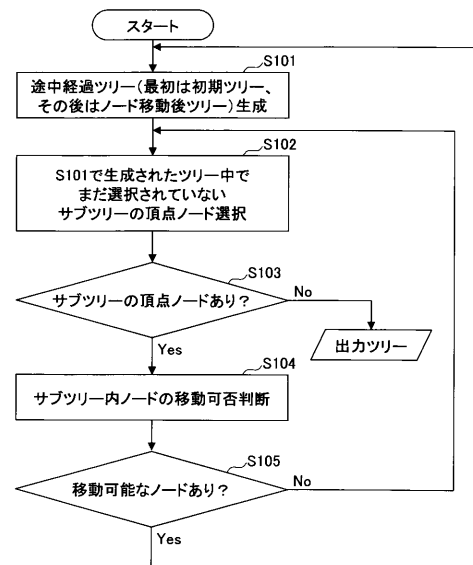
【図 5】

本発明の実施の形態における経路選択装置の機能構成例を示す図



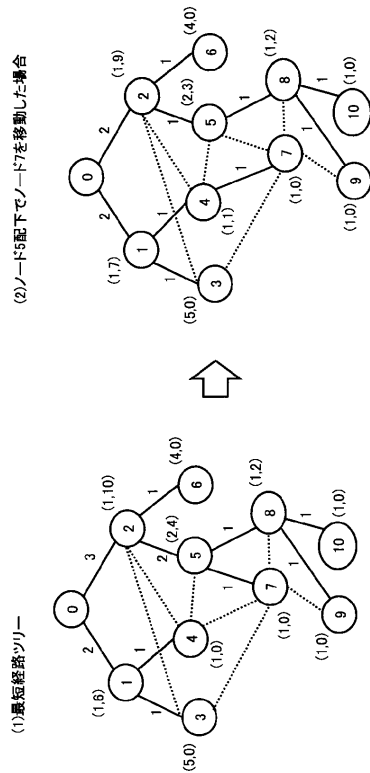
【図 6】

本発明の実施の形態における経路選択装置の動作を示すフローチャート



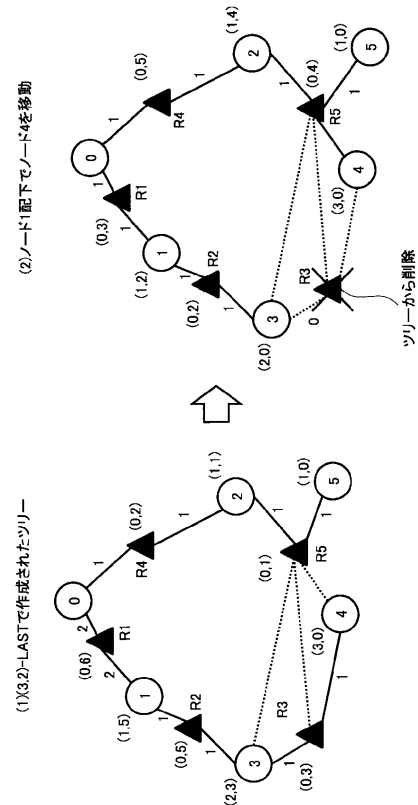
【図 7】

MECAT問題に適用したときのノード移動例



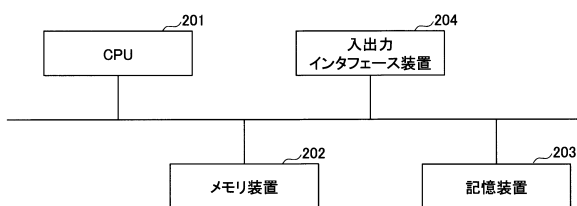
【図 8】

MECAT-RN問題に適用したときのノード移動例



【図 9】

本発明の実施の形態における経路選択装置のハードウェア構成例を示す図



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-021654(JP,A)
特開2017-139635(JP,A)
特開2017-038148(JP,A)
特開2007-267381(JP,A)
米国特許出願公開第2006/0178150(US,A1)
Hiroshi Matsuura, Optimizatuon Challenge: Maximizing Lifetime of a Data-Gathering Sensor Tree, 電子情報通信学会2016年通信ソサイエティ大会講演論文集2, 一般社団法人 電子情報通信学会, 2016年 9月 6日, S-72,S-73

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04W 4/00 - 99/00
H04B 7/24 - 7/26
H04L 12/733

3GPP TSG RAN WG1-4
SA WG1-4
CT WG1,4