

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7119699号
(P7119699)

(45)発行日 令和4年8月17日(2022.8.17)

(24)登録日 令和4年8月8日(2022.8.8)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 4 W	4/38 (2018.01)	H 0 4 W	4/38
H 0 4 W	84/18 (2009.01)	H 0 4 W	84/18
H 0 4 W	40/10 (2009.01)	H 0 4 W	40/10

請求項の数 7 (全19頁)

(21)出願番号	特願2018-138840(P2018-138840)	(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
(22)出願日	平成30年7月24日(2018.7.24)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65)公開番号	特開2020-17828(P2020-17828A)	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43)公開日	令和2年1月30日(2020.1.30)	(74)代理人	100124844 弁理士 石原 隆治
審査請求日	令和2年10月30日(2020.10.30)	(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	齋藤 浩兵

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ノード移動部を有し、

前記ノード移動部は、前記第1のノードを頂点とするサブツリーの配下のノードの中に、移動によってパケット総数が減るノードが存在しない場合、当該サブツリーの配下のノードの中でパケット総数に変化を与えないノードを前記第3のノードの配下に移動する、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、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、

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、ノードの移動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】

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、パケット総数に変化を与えないノードの移動回数に上限を設定する、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。

10

【請求項 6】

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、

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ステップと、

前記第 1 のノードを頂点とするサブツリーの配下のノードの中に、移動によってパケット総数が減るノードが存在しない場合、当該サブツリーの配下のノードの中でパケット総数に変化を与えないノードを前記第 3 のノードの配下に移動するステップと、

20

を有する経路選択方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 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。

【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。

30

【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。

40

【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。

【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

50

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 $d(\text{below}_i)$ とすると $T_N(i)$ は以下の式2及び式3で表される。

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

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

式2及び式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】

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。

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

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。

【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。

【0007】

【数1】

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

【0008】

【数2】

10

20

30

40

50

$$\min_{T \in \mathcal{T}(G)} \sum_{e \in E_T} \left| \frac{z(e)}{S} \right| \quad (\text{式6})$$

【0009】

10

式5及び式6においてGは当該WSNを示し、 $\mathcal{T}(G)$ 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。

【0010】

図1にデータ収集ツリー上のリンクの packets 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 packets 数を示している。

20

【0011】

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

【0012】

(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

【0013】

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。

【0014】

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

50

経路の 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 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。

【 0 0 1 5 】

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： ）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。

10

【 0 0 1 6 】

(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 × 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。

20

【 0 0 1 7 】

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 × 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。

30

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 1 8 】

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

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.

S. Khuller, B. Raghavachari, and N. Young, "Balancing minimum spanning trees and shortest-path trees", Algorithmica, vol. 14, pp. 305-321, 1995.

H. Matsuura, "Switching-based Data Aggregation Tree Optimization on Total Energy Consumption", IEICE General Conference, March 2018.

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0019】

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として非特許文献4の方式が提案されている。非特許文献4ではセンサーツリーのノードを移動してセンサーツリーの構成を変えることにより、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ことを可能としている。

10

【0020】

図5に従来方式(非特許文献4)で提案しているセンサーツリー上でのノードの移動フローを示す。STEP1で初期ツリーを作成した後、STEP2では当該初期ツリーの中で、STEP1でのツリー作成後、STEP2~STEP5のループでまだ選択されていないノードをサブツリーの頂点ノードとして選択する。その後STEP4で選択されたサブツリーの頂点ノード配下で移動可否を判断する。そして移動可能なノードがある場合はSTEP1に戻り、STEP1でノード移動後のツリーを作成し、移動後のツリーに対してSTEP2以降の処理を行う。もしSTEP4の移動可否判断で移動可能なノードがサブツリー内に無いと判断した場合はSTEP2に戻り他のサブツリーの頂点ノードを選択する。この処理をSTEP1で生成された途中経過ツリー内で選択されたすべてのサブツリーの頂点ノードで移動可能なノードが無くなるまで行う。

20

【0021】

しかしながら、非特許文献4では当該フローにおけるSTEP4の移動可否判断として、移動によってセンサーツリー上で送受信されるパケット総数が減少するときのみ移動を可能としている。この場合、図6に示すような課題が生じ、非特許文献4で求めたパケット減少数が理想的なパケット減少数(図7、図8)よりも大幅に少なくなる可能性がある。

【0022】

図6の(1)は図5のSTEP1で作成される1途中経過ツリーであるとする。データ集約レート： $S=5$ とし、 $N11 \sim N13$ はルートノード0から1ホップのノードであり、 $N21 \sim N23$ はルートノード0から2ホップのノードであり、 $N31 \sim N32$ はルートノード0から3ホップのノードである。また図に示すように $d(N11)=5$, $d(N12)=5$, $d(N13)=5$, $d(N21)=6$, $d(N22)=5$, $d(N23)=6$, $d(N31)=1$, $d(N32)=1$ である。で示されるツリー上の上下関係より $d(\text{below_}N11)=6$, $d(\text{below_}N12)=7$, $d(\text{below_}N13)=6$, $d(\text{below_}N22)=2$ となる。また、 $N31$, $N32$ は図に示すようにツリー上で $N22$ に帰属しているが、 $N31$ は $N21$ に $N32$ は $N23$ に対してそれぞれ隣接関係を保持している。また、ツリー上でリンク横に示されている数字は当該リンク上で1データ収集サイクルにおいて送信されるパケット数を示している。この例ではデータ集約レート： $S=5$ であるため $(d(\text{below_}i)+d(i))/5$ の値がノード i から送信されるパケット数となる。

30

【0023】

図6の(1)で示されるような途中経過ツリーが図5のSTEP1で作成された場合は、非特許文献4の方式では、図6の(2)及び(3)のいずれの途中経過ツリーにも移行しない。理由は図5のSTEP4の移動可否判断において、移動するためには1ノードの移動後にツリー上のパケット数が減ることが条件となるが、図6の(2)及び(3)においていずれのツリーにおいてもパケット数に変化が無いためである。

40

【0024】

しかしながら図7に示すように、もし $N31$ と $N32$ が(1)の $N22$ 配下から(2)のように $N21/N23$ にそれぞれ移動した場合は、(2)のツリーに示すように $N22$ と $N12$ から上位ノードに送信されるパケット数がそれぞれ1減少することになり、結果的にツリー上のパケット数が2減少することになる。図7をMECAT問題で一般化した図が図8である。図7ではルートノードからの最大ホップ数が3のツリーであったが、図8ではホップ数が k

50

+1)のツリーを対象にしている。図の各ノードの名称で N_{k1} とはルートノード0からのホップ数が k の最も左側のノードで、 N_{k2} はホップ数が k の真ん中のノードで N_{k3} はホップ数が k の最も右側のノードであることを示している。また、 $0 \leq i \leq k$ の場合 $d(N_{i1})=5$ であることが想定されている。

【0025】

図6で述べたのと同じ理由で非特許文献4の方式では図8の(1)の途中経過ツリーをこれ以上変更できないが、理想的には図8の(2)のようなツリーになることがパケット数を最小にするためには望ましい。図8の(2)の場合、(1)に比べてパケット数が k 減ることになる。理由は、 N_{k2} から N_{12} までの真ん中の k 個のノードから送信されるパケット数が1ずつ減少するからである。 k の値はルートノード以外のノード数を N とした場合 $k=(N-2)/3$ となり、 N の値が大きくなると k も比例して大きくなる。このように、非特許文献4の方式にはパケット数を最小にできない課題がある。

10

【0026】

図8はMECAT問題での課題の一般化であったが、MECAT-RN問題のようにリレーノードが存在する場合でも同じ課題がある。例えば、図8の(1)でルートノード0と $N_{(k-1)}$ 間に複数のリレーノードがセンサーノード間の中継をする場合(ここで $i=1, \text{ or } 2, \text{ or } 3$)でも非特許文献4の方式では図8の(1)のツリー上のノードを移動することはできない。理由は当該移動によってパケット総数が変化しないためである。そのため、MECAT-RN問題においても図6~8を参照して説明した課題を非特許文献4の方式では解決できない。

20

【0027】

また、図6~8では $S=5$ としているが、 S の値が3以上であり、且つ $0 \leq i \leq k$ の条件で $d(N_{ij})=S$ (ここで $j=1, \text{ or } 2, \text{ or } 3$)の場合、図6~8の課題が非特許文献4の方式では生じることにもわかる。つまり、3以上のすべての S で同じ課題が生じることになる。

【0028】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであって、センサーツリーの構成を変えるための条件を緩和してセンサーツリーのノードの移動パターンを増やすことにより、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ことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0029】

本発明の一形態に係る経路選択装置は、
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、

30

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ノード移動部を有し、

前記ノード移動部は、前記第1のノードを頂点とするサブツリーの配下のノードの中に、移動によってパケット総数が減るノードが存在しない場合、当該サブツリーの配下のノードの中でパケット総数に変化を与えないノードを前記第3のノードの配下に移動することを特徴とする。

40

【0030】

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、

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

50

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ステップと、

前記第1のノードを頂点とするサブツリーの配下のノードの中に、移動によってパケット総数が減るノードが存在しない場合、当該サブツリーの配下のノードの中でパケット総数に変化を与えないノードを前記第3のノードの配下に移動するステップと、
を有することを特徴とする。

【0031】

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。

10

【発明の効果】

【0032】

本発明によれば、センサツリーの構成を変えるための条件を緩和してセンサツリーのノードの移動パターンを増やすことにより、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。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【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】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】(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。

20

【図4】(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】従来方式におけるツリー生成方法を示すフローチャートである。

【図6】従来方式によって生じる課題を説明するための図である。

【図7】パケット数を最小化するための理想的な移動結果を示す図である。

【図8】従来方式よりパケット数がk減少する例を示す図である。

【図9】本発明の実施の形態における経路選択装置の機能構成例を示す図である。

【図10】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11】MECAT問題に適用したときのノード移動例である。

30

【図12】MECAT-RN問題に適用したときのノード移動例である。

【図13】従来方式に対するパケット数の減少効果を示す図である。

【図14】従来方式に対する総移動回数の増加を示す図である。

【図15】移動にかかる総時間について従来方式との比較結果を示す図である。

【図16】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】

【0034】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。図9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。

40

【0035】

本実施の形態では、複数のノード(センサノード/リレーノード)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データ収集サイクルを繰り返すネットワーク利用形態を想定している。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。

【0036】

図1の例でもわかるように各ノードからのレポート数には違いがあり、より大きなレポート数を持つノードはなるべくルートノードまでのホップ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

50

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 が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。

【0037】

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、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。

10

【0038】

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。

【0039】

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。

【0040】

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。

20

【0041】

センサーレポート数計算部133は、初期ツリーの各ノード i のセンサーレポート数 $d(i)$ を設定するとともに、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。

【0042】

ノード移動部134は、最終的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ことを目的としてセンサーツリーのノード移動を繰り返す。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。

30

【0043】

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。

【0044】

次に図10のフローチャートを説明する。図10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。

【0045】

STEP101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STEP104及びSTEP105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 $d(\text{below}_i)$ を再設定する。

40

【0046】

以下のSTEP102～STEP105はノード移動部134が実行するプロセスである。

50

【 0 0 4 7 】

STEP102はSTEP101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、STEP101での途中経過ツリー生成後、STEP102～STEP105のループでまだ選択されていないノードを選択する。ただしサブツリーの頂点ノードに選ばれる上限回数まで、すでにサブツリーの頂点ノードとして選択されているノードは、当該上限回数を超えてはサブツリーの頂点ノードとして選択されない。

【 0 0 4 8 】

STEP103はSTEP102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STEP4の処理に移る。

10

【 0 0 4 9 】

STEP104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、移動先の親ノードが当該サブツリーに属さないことである。ここではエネルギー使用量の削減効果を高めるため、移動によって最もパケット削減数が多いノードを当該サブツリー以外のノード配下に移動するものとする。ただし、サブツリー配下のすべてのノードを調査してパケット数削減を実現する移動が無い場合は移動によりパケット数に変化がないノードを移動する。ただし、すでに移動回数の上限に達しているノードは移動の対象にならない。

20

【 0 0 5 0 】

STEP105では、STEP104の移動可否判断で移動可能なノードが存在すると判断された場合(Yes)は、STEP101の処理に移り当該ノードの移動先のノード配下への移動を行い、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ノードが無いと判断された場合(No)はSTEP102に移り他のサブツリーの頂点ノードを探すことになる。

【 0 0 5 1 】

なおSTEP104の移動回数の上限は、移動によりパケット総数に変化を与えないノードの移動回数の上限としてもよい。STEP104の移動回数の上限とSTEP102のサブツリーの頂点ノードに選ばれる回数上限のどちらかは本発明の実施の形態では必要となる。理由はどちらかの制限がなければ、パケット総数に変化を与えないノードの移動が、移動のループ(ある2つの親配下への移動が無限に繰り返される)になる可能性があり、その場合は図10のフローチャートが終了しないからである。

30

【 0 0 5 2 】

< MECAT問題への適用例 >

図11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11の(1)のように最短経路ツリーがすでに生成されている。図11において各ツリーノード内の括弧内に記されている(a)に関して、aはノードi自身が生成する1データ収集サイクルのセンサーレポート数： $d(i)$ の値であり、その横で下線を引いてある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。実線矢印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、各リンク横に記されている数字は当該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。

40

【 0 0 5 3 】

この例では図11の(1)で初期ツリーとしての最短経路ツリー上で、下位に子ノードを保持するノードとしてN11, N12, N13, N22, N31があるので、その中の1ノードがサブツリーの頂点ノードとして選択される。この例ではN31はサブツリーの頂点ノードとして選択されても配下ノードを移動できない。理由は配下ノードN41がツリー上のリンク以外の隣接関係を持たないからである。

50

【 0 0 5 4 】

N11がサブツリーの頂点として選択された場合、N21をN31配下に移動することが図10のSTEP104で検討される。その場合N31-N22, N22-N12, N12-0間の各リンクで1パケットずつ増えるのに対してN11-0間でパケット数が2減少する。そのため、合計でパケット数が1増加する。このようにパケット数が増加する場合は移動対象とならないので、移動は行われぬ。N13がサブツリーの頂点として選択された場合もN23をN32に移動することによってパケット数が1増加するため移動は行われぬ。

【 0 0 5 5 】

N12かN22がサブツリーの頂点として選択された場合は、これらのノードの配下ノードあるN31とN32が移動対象として検討される。なぜならN31はN21に対して隣接関係を持ち、N32はN23に対して隣接関係を持つからである。N31, N32のいずれの移動もパケット数に変化が得られないが、図10のSTEP104でN31, N32が移動可能であると判断される。その場合は任意にどちらかの移動が行われるが、本例では図11の(2)でN32が移動したとしている。

10

【 0 0 5 6 】

ここで、再度図10のSTEP101に戻って図11の(2)の移動後のツリーのサブツリーの頂点ノードを選択する。ここで、たまたまN13あるいはN23が選択されてしまうとN32がN22配下に戻ってしまうが、N12, N22が選択された場合はN31がN22からN21配下に移動する。理由は図11の(3)に示すように、この移動によりリンクN22-N12, N12-0のパケット数が1ずつ減ることにより、全体のパケット数が2減るからである。なお、図11の(2)でサブツリーの頂点ノードとしてN13あるいはN23が選択されてしまい、N32がN22に戻ってしまい、N32がN22配下とN23配下間で繰り返して移動されるループを防ぐためには、ノードの移動回数に上限値を定めることが有効である。

20

【 0 0 5 7 】

図11の(3)は出力ツリーとなる。理由はもしN11あるいはN21がサブツリーの頂点ノードとして選択された場合にもN31をN21配下からN22配下に移動した場合にパケット数が2増加(図11の(2)に戻る)するためである。同じ理由でN13, N23がサブツリーの頂点ノードとして選択された場合もN32が移動することは無い。

【 0 0 5 8 】

< MECAT-RN問題への適用例 >

30

図12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12の(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12において、r1, r2はリレーノードを示し、他のノードはセンサーノードを示している。実線矢印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 9 】

図12の(1)では、N12, r2, N22のいずれかがサブツリーの図10のSTEP102で頂点ノードとして選択された場合を示しているが、もし他のノード(r1, N11, N13)が頂点ノードとして選択されても、配下ノードの移動は行われぬ。理由はN21をN31配下に移動、あるいはN23をN32配下に移動した場合はいずれの場合ともにツリー上のパケット数が増加するためである。N12, r2, N22のいずれかが頂点ノードとして選択された場合はN31がN22配下からN21配下へ、N32がN22配下からN23配下にそれぞれ移動することが図10のSTEP104で検討される。いずれの移動も移動前後でパケット数に変化がないので、この場合は任意選択でどちらの移動が行われる。図12の(2)では図10のSTEP101でN32がN23に移動したと仮定している。

40

【 0 0 6 0 】

図12の(2)のツリーでは再度図10のSTEP102でサブツリーの頂点ノードとしてN

50

12, r2, N22のいずれが選択されたことを想定しているが、もしN13, N23のいずれかが選択された場合はN32がN22の配下に戻ってしまう。このような移動のループを避けるためには移動回数の上限値設定が有効である。

【0061】

図12の(2)ではN31のN22配下からN21配下への移動が検討されるが、図12の(3)に示すように、この移動によりN22-r2, r2-N12, N12-0の各リンクのケット数がそれぞれ1減少することになり合計でケット数が3減少することになるので、N31はN21配下に移動される。

【0062】

図12の(3)は出力ツリーとなる。理由はもしN11あるいはN21がサブツリーの頂点ノードとして選択された場合にもN31をN21配下からN22配下に移動した場合にケット数が3増加(図12の(2)に戻る)するためである。同じ理由でN13, N23がサブツリーの頂点ノードとして選択された場合もN32が移動することは無い。

10

【0063】

<本発明の実施の形態の効果>

上記のように、本実施の形態によれば、センサーツリーのノードの移動のパターンを増やすことにより、図6～図8で述べたような場合であってもセンサーツリー上の送信ケット数を減らすことができ、センサーツリー上のエネルギー使用量を削減することが可能になる。

【0064】

例えば、本実施の形態により非特許文献4の方式では実現できなかった図6の(1)から(2)又は(3)への移動が可能になる。もし図6の(2)の途中経過ツリーができた場合は、次にN22かN12が図10のSTEP102でサブツリーの頂点ノードに選択された際にN31がN22の配下からN21の配下に移動されることになり、図7の理想の移動が実現されることになる。もし図6の(3)の途中経過ツリーができた場合も、次にN22かN12が図10のSTEP102でサブツリーの頂点ノードに選択された際にN32がN22の配下からN23の配下に移動されることになり、図7の理想の移動が実現されることになる。このように非特許文献4の方式では実現されなかった図6の(2)又は(3)のような途中経過ツリーが図10のSTEP101で作成される可能性が高まることにより、図7、図8で示されるような、ツリー上のケット数を最小にするための理想的ツリーを作成する可能性が高まる。

20

30

【0065】

図13～図15に本実施の形態によるケット数削減効果及び処理負荷のシミュレーション結果を示す。

【0066】

コンピュータシミュレーション環境で400m×400mの平面に1000台のセンサーノードを異なる2台のセンサー間の最短距離間隔を10mとしてランダムに配置した後、センサー信号の送信距離を25mとして送信距離内のセンサーノード間に隣接関係を作成した。結果として1センサーノードあたり平均約11.3ノードの隣接関係が作成された。この環境で、幅優先探索(breadth first search)で最短経路ツリー(初期ツリー)を作成した後、その初期ツリーに対して本実施の形態を適用した結果を示す。

40

【0067】

評価条件として各センサーのセンサーレポート数は1～5の一様乱数を与えた。図13は従来方式(非特許文献4)と提案方式(本実施の形態)との初期ツリーからのケット減少数の比較である。グラフ横軸はデータ集約レート(S)を示している。またサブツリーの頂点ノードとして選択される上限は10であり、ノードの移動回数の上限は10である。つまり提案方式の従来方式からの違いは、選択されたサブツリーの頂点ノード配下で、ケット削減効果が無いノードしかない場合に、それらのノードを移動回数の上限以内で移動するかどうかの違いだけである。

【0068】

50

図13に従来方式と提案方式でノードの移動を行った結果の最短経路ツリーに対して1データ収集サイクルにおけるパケット総数の減少数を示している。すべてのデータ集約数(S)において提案方式は従来方式に比較して12%~36%のパケット減少数の増加が得られる。

【0069】

反面、提案方式は1移動によるパケット数減少が得られなくても、移動回数の上限までは移動するため、図10のフローが終了するまでに多くのノード移動が行われる。その負荷を評価するために、図14に提案方式と従来方式の総移動数を示す。すべてのSで従来方式の移動回数は平均68回であるが、提案方式は平均2821回の移動回数が要求される。ただし、図15の総移動時間比較から提案方式の移動にかかる総時間は平均6.4秒であり、従来方式の平均1.6秒と比較して平均4.8秒のオーバーヘッドしかないことがわかる。

10

【0070】

ツリー作成は通常リアルタイム性は求められず、頻度は多くないので、この5秒程度のオーバーヘッドは大きな問題にはならないと考えられる。

【0071】

<ハードウェア構成例>

図16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CPU201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。

20

【0072】

<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で使用されてもよい。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。

30

【0073】

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】

40

【0074】

- 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
- 140 WSN格納部

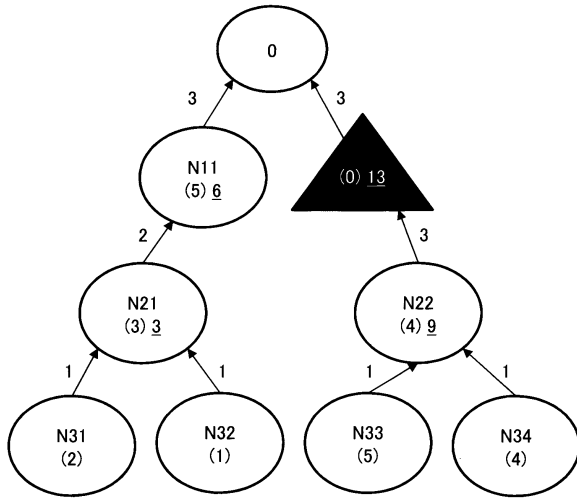
50

- 1 5 0 ツリー格納部
- 2 0 1 CPU
- 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

【図面】

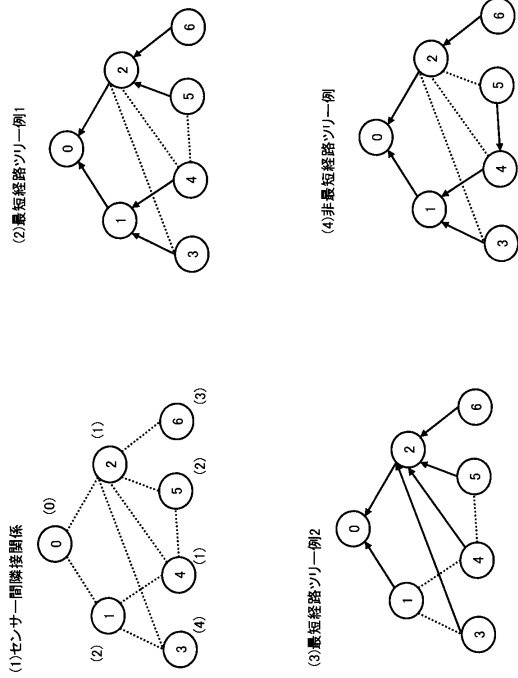
【図 1】

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】

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



10

20

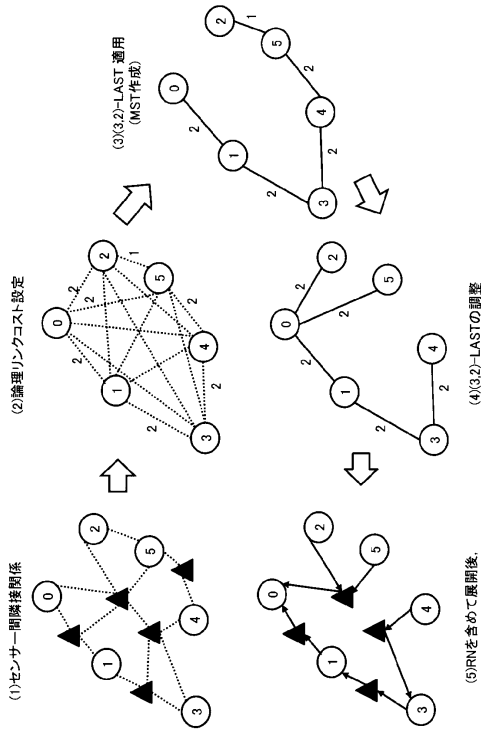
30

40

50

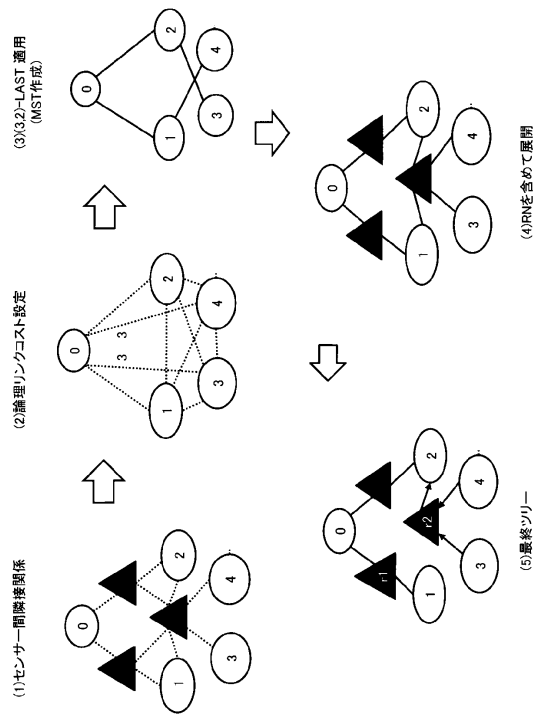
【 図 3 】

(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 】

(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

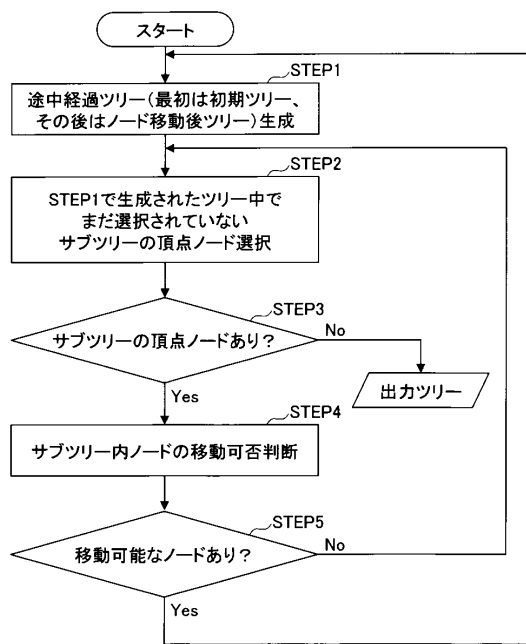


10

20

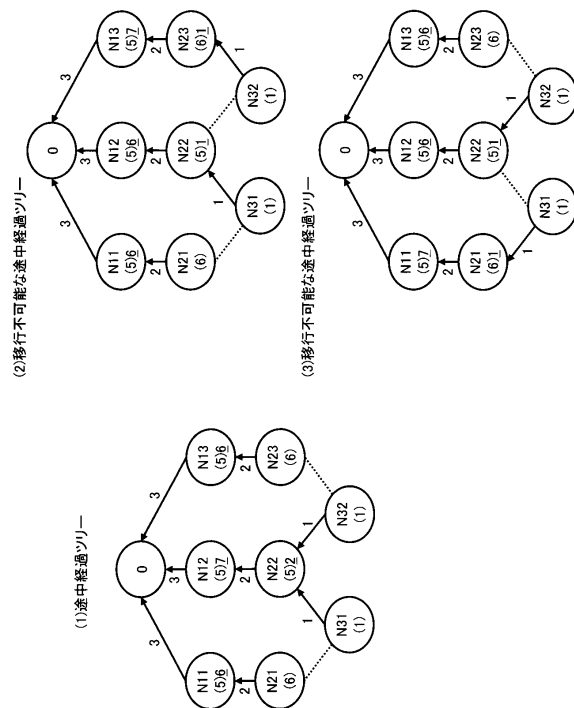
【 図 5 】

従来方式におけるツリー生成方法を示すフローチャート



【 図 6 】

従来方式によって生じる課題を説明するための図



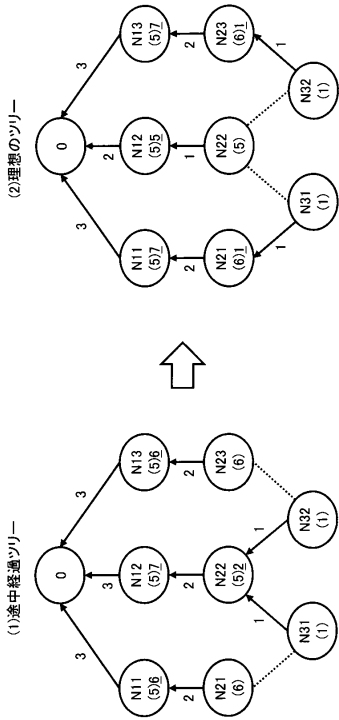
30

40

50

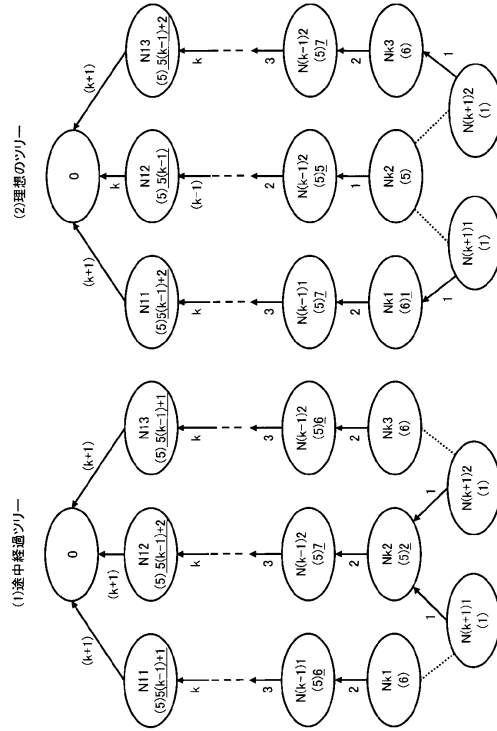
【図7】

パケット数を最小化するための理想的な移動結果を示す図



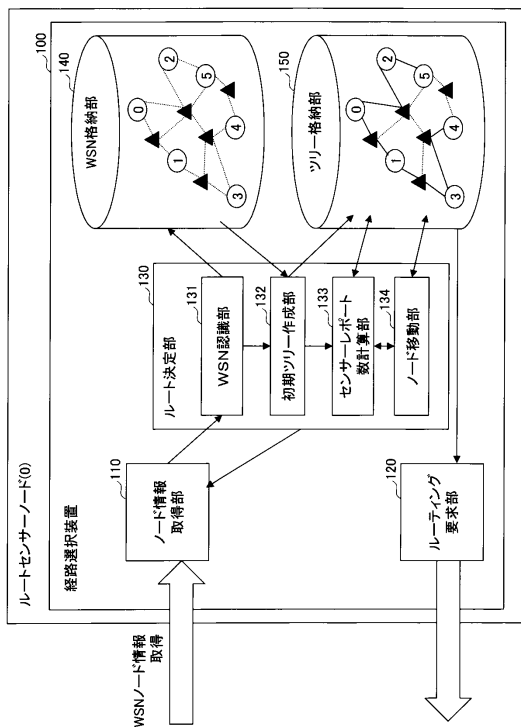
【図8】

従来方式よりパケット数がk減少する例を示す図



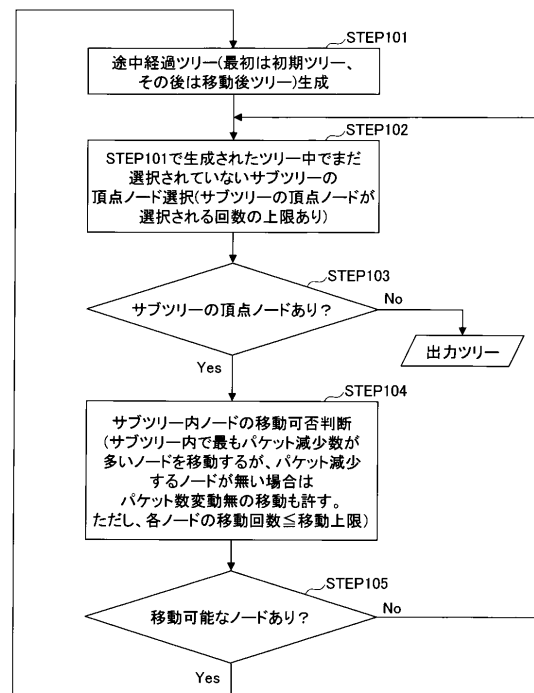
【図9】

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10】

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



10

20

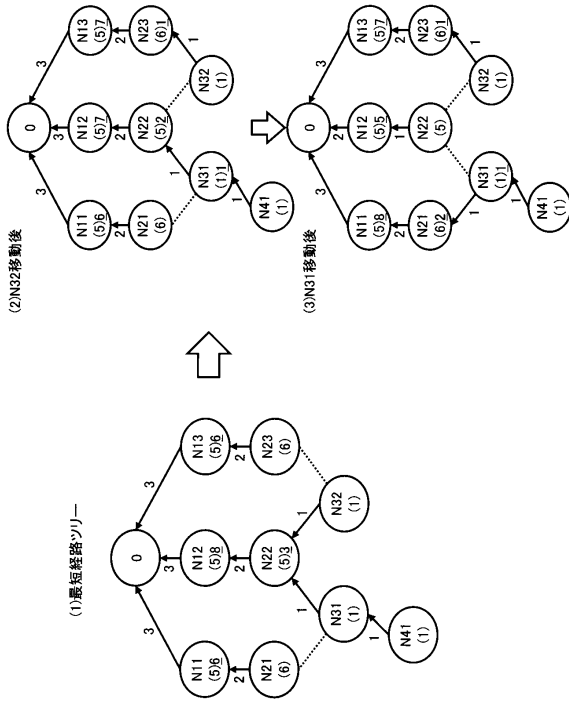
30

40

50

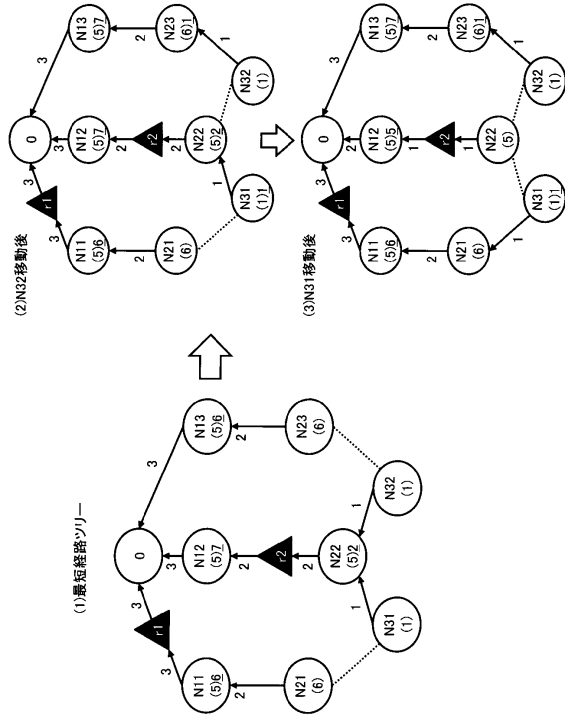
【図 1 1】

MECAT問題に適用したときのノード移動例



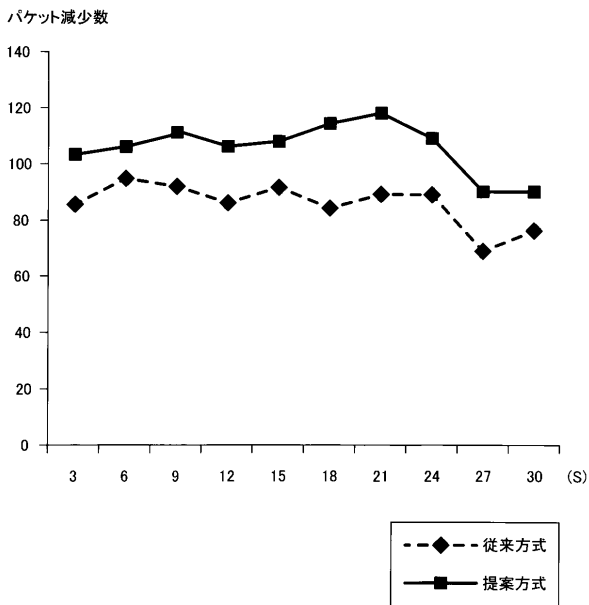
【図 1 2】

MECAT-RN問題に適用したときのノード移動例



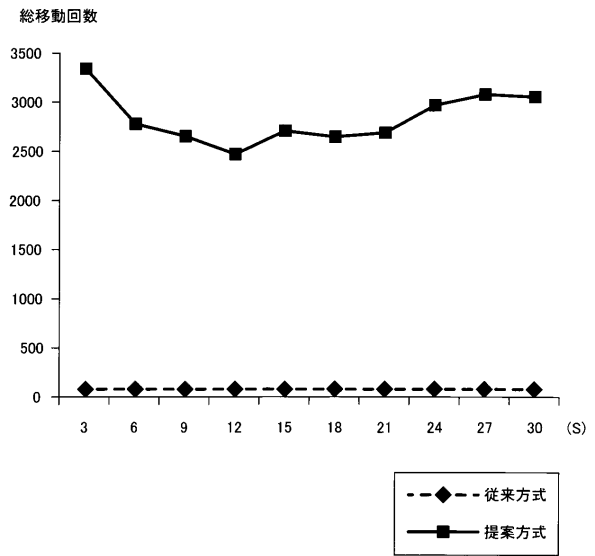
【図 1 3】

従来方式に対するパケット数の減少効果を示す図



【図 1 4】

従来方式に対する総移動回数の増加を示す図



10

20

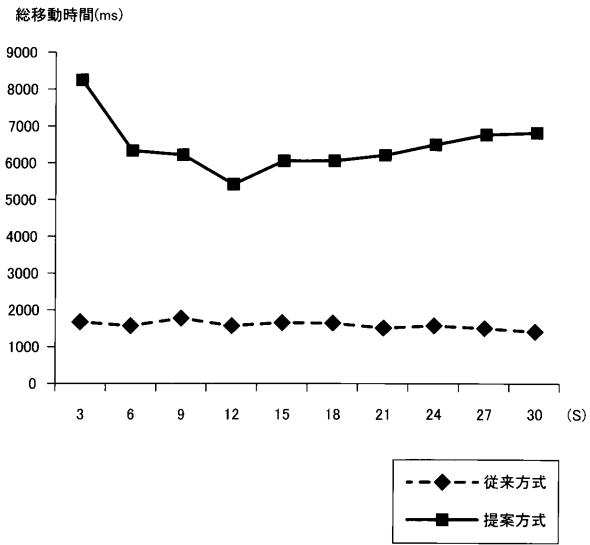
30

40

50

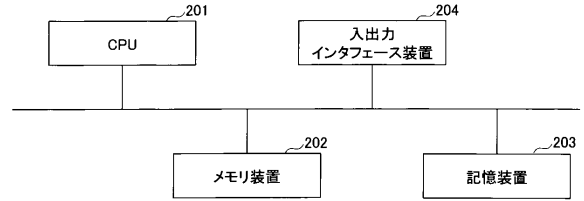
【図 15】

移動にかかる総時間について従来方式との比較結果を示す図



【図 16】

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



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2018-023013(JP,A)
特開2013-038534(JP,A)
特開2017-139635(JP,A)
特開2015-198333(JP,A)
特開2013-141132(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04W 4/00-99/00