

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5810209号
(P5810209)

(45) 発行日 平成27年11月11日 (2015.11.11)

(24) 登録日 平成27年9月18日 (2015.9.18)

(51) Int.Cl.	F I
G06Q 50/06 (2012.01)	G06Q 50/06
H02J 3/00 (2006.01)	H02J 3/00 170
H02J 3/14 (2006.01)	H02J 3/14

請求項の数 15 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2014-504183 (P2014-504183)	(73) 特許権者	513257317
(86) (22) 出願日	平成23年12月23日 (2011.12.23)		ブラームス・インステリング・ボール・テクノロジー・オンデルズーク (フェー・イー・ティ・オウ)
(65) 公表番号	特表2014-512052 (P2014-512052A)		VLAAMSE INSTELLING
(43) 公表日	平成26年5月19日 (2014.5.19)		VOOR TECHNOLOGISCH
(86) 国際出願番号	PCT/EP2011/074040		ONDERZOEK (VITO)
(87) 国際公開番号	W02012/139670		ベルギー、ペー2400 モル、ブルー
(87) 国際公開日	平成24年10月18日 (2012.10.18)		タンク、200
審査請求日	平成26年12月9日 (2014.12.9)	(74) 代理人	110001195
(31) 優先権主張番号	11162735.2		特許業務法人深見特許事務所
(32) 優先日	平成23年4月15日 (2011.4.15)	(72) 発明者	クラーク・センズ、ベルト
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		ベルギー、ペー3510 スパルベーク、デ・ガアー、18
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法、そのような方法を行なうためのコンピュ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたって前記複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するためのコンピュータによって実行される方法であって、

A. 前記コンピュータによって、各クラスタにおけるそれぞれの装置のフレキシビリティ情報を収集するとともに、各クラスタのそれぞれの装置の収集されたフレキシビリティ情報を各クラスタについての集約フレキシビリティ情報になるよう組合せることにより、クラスタについてのフレキシビリティ情報を集約するステップを含み、

それぞれの装置のフレキシビリティ情報は、それぞれの装置が既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内に前記クラスタのそれぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される蓄積エネルギーの最大量、ならびに前記装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報を含み、

各クラスタの集約フレキシビリティ情報は、各クラスタが既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内に各クラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量、ならびに前記装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量を考慮した、時間関数での前記クラスタによって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報であり、

前記方法はさらに、

B. 前記コンピュータによって、クラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮

10

20

して、前記予め定められた期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーを決定するステップと、

C. 前記コンピュータによって、決定された時間関数での配給すべき蓄積エネルギーに基づいて、時間関数でのクラスタに供給すべき電力をエネルギーの流れから得ることにより、前記決定された蓄積エネルギーをクラスタに供給し、クラスタにおける全装置について供給すべき電力の優先度を決定し、クラスタのそれぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づく供給すべき電力の優先度に基づいて、供給電力をクラスタの装置に時間関数で分配するステップを含む、エネルギー流を分配するための方法。

【請求項2】

前記クラスタにおける全装置についての供給すべき電力の優先度の決定は、それぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づいている、請求項1に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項3】

それぞれの装置についての、それぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づく供給すべき電力の優先度は、それぞれの装置によって許可される電力摂取の最大量に最小の優先度が対応し、それぞれの装置によって許可される電力摂取の最小量に最大の優先度が対応するように、優先度関数での電力として決定され、

電力と優先度との関係は、予め定められた期間において前記装置によって必要とされるエネルギーの最小量を示しており、電力と優先度との関係は時間関数で変化する、請求項1または2に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項4】

それぞれの装置に供給すべき電力のそれぞれの優先度は、供給すべき電力の集約優先度になるよう組合され、

得られた供給すべき電力の集約優先度を用いて、エネルギーの流れから得られた電力に対応する優先度が前記クラスタについて得られ、その後、得られた前記クラスタの優先度に基づいて、それぞれの装置の優先度関数での供給すべき電力のそれぞれの優先度を用いて、それぞれの装置について供給すべき電力が決定されるとともに、前記クラスタの装置に分配される、請求項3に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項5】

エネルギー流からの得られた電力を使用する優先度は、エネルギーの流れから得られた優先度関数での電力から優先度関数での集約電力を減算し、さらに結果として得られた優先度関数での電力から実質的にゼロに最も近い電力を有する優先度を決定することによって決定される、請求項4に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項6】

複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、第1の予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための請求項1～5のいずれか1項に記載の方法であって、エネルギー流を分配するための請求項1に記載のステップA～Cは、第2の予め定められた期間毎に繰返され、前記第2の期間は前記第1の予め定められた期間よりも短い、エネルギー流を分配するための方法。

【請求項7】

それぞれの装置についての供給すべき電力の優先度は、第3の予め定められた期間の後で決定されることを特徴とする、請求項6に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項8】

前記クラスタの装置のフレキシビリティ情報を前記クラスタについてのフレキシビリティ情報になるよう組合せることは、それぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量を追加すること、それぞれの装置によって許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を追加すること、それぞれの装置の時間関数での電力の最小量を追加すること、およびそれぞれの装置の時間関数での電力の最大量を追加することを含む、請求項1～7のいずれか1項に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項9】

フレキシビリティ情報は前記クラスタの少なくとも1つの装置に格納される、請求項1～8のいずれか1項に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項10】

前記クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報は、少なくとも1つの装置の時間関数でのエネルギーの使用を監視することによって得られる、請求項9に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項11】

エネルギーに関する前記制約は、エネルギーの利用可能性を含む、請求項1～10のいずれか1項に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項12】

前記予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーの決定は、線形計画法および確率的計画法、好ましくは動的計画法のうちのいずれか1つを用いて行なわれる、請求項1～11のいずれか1項に記載のエネルギー流を分配するための方法。

【請求項13】

請求項1～12のいずれか1項に記載の方法を行なうためのソフトウェア構成要素を含む、コンピュータ読取可能なフォーマットのコンピュータプログラム。

【請求項14】

複数の装置を含むクラスタと、

前記複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたって前記クラスタにエネルギー流を分配するように構成されたアグリゲータ（集約器）

備え、

前記アグリゲータは、

A．各クラスタにおけるそれぞれの装置のフレキシビリティ情報を収集するとともに、各クラスタのそれぞれの装置の収集されたフレキシビリティ情報を各クラスタについての集約フレキシビリティ情報になるよう組合せることにより、クラスタについてのフレキシビリティ情報を集約するように構成され、

それぞれの装置のフレキシビリティ情報は、それぞれの装置が既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内に前記クラスタのそれぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される蓄積エネルギーの最大量、ならびに前記装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報を含み、

各クラスタの集約フレキシビリティ情報は、各クラスタが既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内に各クラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量、ならびに前記装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量を考慮した、時間関数での前記クラスタによって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報であり、

前記アグリゲータは、さらに、

B．クラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮して、前記予め定められた期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーを決定し、

C．決定された時間関数での配給すべき蓄積エネルギーに基づいて、時間関数でのクラスタに供給すべき電力をエネルギーの流れから得ることにより、前記決定された蓄積エネルギーをクラスタに供給し、クラスタにおける全装置について供給すべき電力の優先度を決定し、クラスタのそれぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づく供給すべき電力の優先度に基づいて、供給電力をクラスタの装置に時間関数で分配するように構成される、システム

【請求項15】

前記アグリゲータはコンピュータである、請求項14に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められ

10

20

30

40

50

た期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約、たとえば価格などを考慮して、少なくとも1つの装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法は、既に当業者には公知である。たとえば、US 2009/0228324は、限界需要関数を集約し、エネルギーの価格を制約として考慮しながら、集約された関数に基づいた最適な割当て、すなわちクラスタの装置へのエネルギーの最適な割当てを決定することによって、エネルギー流を分配するための方法を記載している。たとえば、装置のクラスタのうちの2つ以上の装置から、2つ以上の限界需要関数（1つの限界需要関数は、装置が進んで支払う所与の量のエネルギーの価格を表わす）がそれぞれ得られ、かつ集約されて、集約された限界需要関数を形成する。また、集約された限界需要関数に基づいた、2つ以上の他の装置への集約量のエネルギー流の最適な割当てが決定される。集約演算はたとえば、個々の使用価値の合計であるが、重み付け合計といった他の例も与えられる。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、この従来技術に従った方法は、スケーリングの問題を回避するなどのために非集中的な解決策を提供しようとしているが、時間関数でのクラスタ装置へのエネルギーの流れを検討することなく、別々の装置へのエネルギーの割当てしか対処されていないため、クラスタの別々の装置について短期のおよび/または局所的な利点は得られるものの、長期のおよび/またはより大域的な機会が失われる可能性がある。

20

【0004】

US 20090319090は、エネルギーに関する制約を考慮するとともに、エネルギーの利用可能性に対する予測を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法を記載しているが、US 20090319090は、クラスタにおいて限られた量の装置、すなわち、建物用のソーラーPVアレイ、負荷、およびエネルギー貯蔵システムを有する状況を記載している。しかしながら、クラスタにおける装置の数が増加すると、US 20090319090によって記載された方法を用いてクラスタの装置にエネルギーの流れを分配することはますます難しくなり、ほぼ不可能になることすらあるであろう。

30

【0005】

また、US 20090319090は、一旦得られたクラスタに供給すべき電力が、クラスタの装置にどのように時間関数で分配されるかについて記載しておらず、したがって、エネルギーをそれほどすぐには必要としていない装置に対して、エネルギーをより一層すぐに必要としている装置がどのように扱われるかについて記載していない。

【0006】

US 2008/0046387は、エネルギーの価格を考慮し、エネルギーの価格に対する予測を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法を記載しているが、それは、一旦得られたクラスタに供給すべき電力が、クラスタの装置にどのように時間関数で分配されるかについて記載しておらず、したがって、エネルギーをそれほどすぐには必要としていない装置に対して、エネルギーをより一層すぐに必要としている装置がどのように扱われるかについて記載していない。したがって、この発明の目的は、長期の機会を逃すことを回避しながら複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮し、クラスタの装置がエネルギーを必要とする緊急性を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法を提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

これは、第1の請求項に記載の方法に従って達成される。そのため、複数の装置に配給

50

すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法は、

A．クラスタにおけるそれぞれの装置のフレキシビリティ情報を収集するとともに、クラスタのそれぞれの装置の収集されたフレキシビリティ情報をクラスタについての集約フレキシビリティ情報になるよう組合せることにより、クラスタについてのフレキシビリティ情報を集約するステップを含み、それぞれの装置のフレキシビリティ情報は、それぞれの装置が既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内にクラスタのそれぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量、ならびに装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報を含み、クラスタの集約フレキシビリティ情報は、クラスタが既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内にクラスタによって少なくとも1つの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を時間関数での予め定められた期間内に考慮した、クラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量およびクラスタによって許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量、ならびに装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量を考慮した、時間関数でのクラスタによって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報であり、前記方法はさらに、

10

B．クラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮して、予め定められた期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーを決定するステップと、

C．決定された時間関数での配給すべき蓄積エネルギーに基づいて、時間関数でのクラスタに供給すべき電力をエネルギーの流れから得ることにより、決定された蓄積エネルギーをクラスタに供給し、それぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づいてクラスタにおける全装置について供給すべき電力の優先度を決定し、クラスタのそれぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づく供給すべき電力の優先度に基づいて、供給電力をクラスタの装置に時間関数で分配するステップとを含む。

20

【0008】

そのような方法を用いると、複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を検討して、予め定められた期間にわたってエネルギー流のより最適な分配が得られる、ということがわかっている。

【0009】

さらに、いくつかの装置のクラスタの形成は、スケーリングの問題を低減できるよう、別々の装置へのエネルギーの分配の制御を著しく分散化することを可能にする。

30

【0010】

装置を複数の装置のクラスタへと集約することによって情報は必然的に失われるが、にもかかわらず、それぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づいてクラスタにおける全装置について供給すべき電力の優先度を決定することにより、クラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮して決定された予め定められた期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーが実質的に尊重され、かつそれぞれの装置のフレキシビリティ情報によって定義される境界の内部にあるように、装置へのエネルギー流の分配を得ることができる。

40

【0011】

このように、長期の機会を逃すことを回避するなどのために時間関数でのクラスタ装置へのエネルギーの流れを検討し、クラスタの装置がエネルギーを必要とする緊急性を考慮しつつ、フレキシビリティ情報の使用によって拡張性を保ち、フレキシビリティ情報を集約する、方法が提供される。

【0012】

この発明の好ましい実施例によれば、それぞれの装置についての、それぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づく供給すべき電力の優先度は、それぞれの装置によって許可される電力摂取の最大量に最小の優先度が対応し、それぞれの装置によって許可される電力摂取の最小量に最大の優先度が対応するように、優先度関数での電力として決定される。

50

電力と優先度とのそれぞれの関係は、予め定められた期間において装置によって必要とされるエネルギーの最小量を示しており、電力と優先度との関係は時間関数で変化する。優先度関数での電力のそのようなマッピングを使用することは、エネルギーの流れからの得られた電力を使用するための別々の装置の優先度を得るために容易に使用可能であるということがわかっている。さらに、優先度関数での電力のそのようなマッピングは、クラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮して決定された予め定められた期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーが実質的に尊重され、かつそれぞれの装置のフレキシビリティ情報によって定義される境界の内部にある状態で、別々の装置にどれぐらいの電力を提供する必要があるかを決定するのに十分である。

【 0 0 1 3 】

10

この発明のより好ましい実施例によれば、それぞれの装置に供給すべき電力のそれぞれの優先度は、供給すべき電力の集約優先度になるよう組合され、得られた供給すべき電力の集約優先度を用いて、エネルギーの流れから得られた電力に対応する優先度がクラスタについて得られ、その後、得られたクラスタの優先度に基づいて、それぞれの装置の優先度関数での電力として決定された供給すべき電力のそれぞれの優先度を用いて、それぞれの装置について供給すべき電力が決定されるとともに、クラスタの装置に分配される。電力をクラスタの装置にそのように分配することは、電力の必要性および制約を考慮して得られた電力の適切な分配を可能にするということがわかっており、たとえば、予め定められた期間内で他の装置よりも多くの電力を必要とする装置は、この電力を、エネルギーに関する制約の範囲内で、クラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮して決定された

20

予め定められた期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーから実質的に逸脱することなく、それぞれの装置のフレキシビリティ情報によって定義される境界の内部で受取ることができる。

【 0 0 1 4 】

この発明の好ましい実施例によれば、この発明に従った方法に従った、複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、第1の予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法が提供され、エネルギー流を分配するためのこの発明に従ったステップA～Cは、第2の予め定められた期間毎に繰返され、第2の期間は第1の予め定められた期間よりも短い。そのようなアルゴリズムを用いると、装置のクラスタへのエネルギー流の長期最適化の利点が、クラスタの装置のフレキシビリティ

30

情報およびエネルギーに関する制約における短期の変化を考慮することと組合されるということがわかっている。このように、たとえば装置のクラスタへのエネルギー流の最適化は、たとえば昼間および夜間のエネルギーの利用可能性による電気などのエネルギーのこれらの時間での価格など、たとえばエネルギーの使用時間に関するエネルギーの価格の周期的変化といった、たとえば延長された期間にわたる制約の変化などの長期的影響、ならびに、たとえば気候環境による風力エネルギーの急増による、たとえばエネルギーの利用可能性の急増による電気などのエネルギーの価格の予期しない急な変化といった、たとえば限られた期間にわたる制約の変化などの短期的影響を考慮することができる。

【 0 0 1 5 】

この発明の好ましい実施例によれば、クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報をクラスタについてのフレキシビリティ情報になるよう組合せることは、それぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量を追加すること、それぞれの装置によって許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を追加すること、それぞれの装置の時間関数での電力の最小量を追加すること、およびそれぞれの装置の時間関数での電力の最大量を追加することを含む。そのような方法は、比較的簡単に行なえるにもかかわらず、クラスタの装置にエネルギーの流れの最適な分配を提供するのに十分であるということがわかっている。

40

【 0 0 1 6 】

この発明の好ましい実施例によれば、ステップはコンピュータによって実行される。そのようなコンピュータは、実質的に人間の介入なく、エネルギーの流れを調整することを可

50

能にする。

【0017】

この発明の好ましい実施例によれば、フレキシビリティ情報はクラスタの少なくとも1つの装置に格納され、ステップAは、フレキシビリティ情報をコンピュータに送信するステップを含む。これにより、そのような装置をクラスタに接続すると、コンピュータは、たとえば第2の予め定められた期間が経過した後で（必ずしもこの限りではないが）、装置のフレキシビリティ情報に依存してクラスタのフレキシビリティ情報を更新できる。

【0018】

この発明の好ましい実施例によれば、クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報は、少なくとも1つの装置の時間関数でのエネルギーの使用を監視することによって得られる。そのような実施例は、たとえばより古い乾燥機、洗濯機、食洗機、充電器などのより古い家電といった、コンピュータと通信するよう特に適合されていない装置が、この発明に従った方法で動作できるよう、装置がそれ自体のフレキシビリティ情報を格納する必要なく、クラスタの装置のフレキシビリティ情報を決定することを可能にする。

【0019】

好ましくは、クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報は、マルコフプロセスで得られる。しかしながら、たとえばニューラルネットワーク、ARMA (auto regressed moving average: 自己回帰移動平均) などの他の方法も可能である。

【0020】

この発明の好ましい実施例によれば、エネルギーに関する制約は、エネルギーの利用可能性を含む。そのような実施例では、クラスタにグループ化された装置によるエネルギーの需要は、エネルギーの供給とバランスをとることができ、たとえば電気にとって重要であるエネルギーのより連続的な流れを得ることができるということがわかっている。エネルギーに関する制約はまた、送電網上の電気エネルギーの流れを安定させるために、送電網上の電気の所望の周波数および/または電圧のうちのいずれか1つを、代わりにまたは追加で含んでもよく、送電網はそのような場合、エネルギーの流れであり、環境要因は、環境要因が考慮などされ得るようにエネルギーの流れに関連している。

【0021】

この発明の好ましい実施例によれば、エネルギーに関する制約は、エネルギーの価格を含む。そのような実施例では、エネルギーのために支払われる価格は、同じ量のエネルギーに対する装置のユーザらの支払いがより少なくなるよう、最小限に抑えられ得る。エネルギーの価格は通常、利用可能なエネルギー、特に電気エネルギーの量に相関しているため、そのような方法は、エネルギーの利用可能性を含むエネルギーに関する制約と組合されることが特に好ましい。

【0022】

この発明の好ましい実施例によれば、エネルギーは電気エネルギーである。なぜなら、そのようなエネルギーについては、制約は時間とともに著しく変化し得るためである。

【0023】

この発明の好ましい実施例によれば、予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーの決定は、線形計画法および確率的計画法、好ましくは動的計画法のうちのいずれか1つを用いて行なわれる。しかしながら、たとえばA^{*}、近似またはニューロダイナミックプログラミングなどの動的計画法、強化学習などの他の方法も可能である。

【0024】

この発明の好ましい実施例によれば、それぞれの装置についての供給すべき電力の優先度は、第3の予め定められた期間の後で決定される。そのような実施例では、時間関数での優先度関数での電力として決定された電力の優先度が考慮され得る。好ましくは、第3の予め定められた期間は第2の期間よりも短い。この発明の好ましい実施例によれば、ある量の電力を最大の優先度で要求している装置には、その量の電力がエネルギーの流れから提供される。そのような方法は、たとえば照明のスイッチがオンにされたときなどの電力に対する即時の要求が満たされることを可能にする。特に、エネルギー流を分配するための

10

20

30

40

50

ステップが第2の予め定められた期間毎に繰返される実施例と組合されると、そのような電力に対する即時の要求を有する装置がクラスタ内に存在していても、この要求をステップの次のサイクルに取り入れて、決定された時間関数での蓄積エネルギーをそのような要求に適合させ、エネルギーに関する制約を考慮したクラスタの装置への最適化されたエネルギー流を得ることができるということがわかっている。

【0025】

この発明はまた、この発明に従った方法を行なうためのソフトウェア構成要素を含む、コンピュータ読取可能なフォーマットのコンピュータプログラムに関する。

【0026】

この発明はまた、複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたってシステムの複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するためのシステムに関し、システムは、この発明に従った方法のステップA、BおよびCを行なうために設けられたアグリゲータを含む。

10

【0027】

複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたってシステムの複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための、この発明に従ったシステムの好ましい実施例によれば、この発明に従った方法のステップA、BおよびCを行なうために設けられたアグリゲータはコンピュータである。

【0028】

以下の説明および添付図面により、この発明をさらに説明する。

20

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】この発明に従った方法の好ましい一実施例の図形表現を示す図である。

【図2】時間関数での、この発明に従った方法の好ましい一実施例を示す図である。

【図3】この発明に従った方法の別の好ましい実施例を示す図である。

【図4】この発明に従った方法の好ましい一実施例の図形表現を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下の詳細な説明では、この発明の完全な理解およびそれが特定の実施例でどのように実践され得るかを提供するために、多数の特定の詳細が述べられる。しかしながら、この発明はこれらの特定の詳細がなくても実践され得ることが理解されるであろう。他の点では、この発明を不明瞭にしないよう、周知の方法、手順、および技術は詳細には説明されていない。特定の実施例に関し、図面を参照してこの発明を説明するが、この発明はそれらに限定されない。ここに含まれ記載される図面は概略的であり、この発明の範囲を限定していない。また、図面では、例示する目的のために、要素によってはそのサイズが誇張され、したがって縮尺通りには描かれていない場合がある。

30

【0031】

特定の実施例に関し、図面を参照してこの発明を説明するが、この発明はそれらに限定されず、請求項のみによって限定される。記載される図面は単なる概略であり、非限定的である。図面では、例示する目的のために、要素によってはそのサイズが誇張され、したがって縮尺通りには描かれていない場合がある。寸法および相対寸法は、この発明の現実の実現化に必ずしも対応していない。

40

【0032】

また、説明および請求項における第1、第2、第3などの用語は、同様の要素を区別するために使用されており、必ずしも発生順、時系列順を説明するために使用されてはいない。これらの用語は適切な状況下で相互交換可能であり、この発明の実施例は、ここに説明されまたは例示されたもの以外の順序で動作可能である。

【0033】

さらに、説明および請求項における上部、底部、上、下などの用語は、説明する目的のために使用されており、必ずしも相対位置を説明するために使用されてはいない。そのよ

50

うに使用される用語は適切な状況下で相互交換可能であること、および、ここに説明されるこの発明の実施例は、ここに説明されまたは例示されたもの以外の配向で動作可能であることが理解されるべきである。

【 0 0 3 4 】

請求項で使用される「を含む」という用語は、その後列挙される手段に制限されるよう解釈されるべきではなく、それは他の要素またはステップを除外しない。それは、引用されたような述べられた特徴、整数、ステップ、または構成要素の存在を特定するとして解釈される必要があるが、1つ以上の他の特徴、整数、ステップ、または構成要素、もしくはそれらの群の存在または追加を除外しない。このため、「手段Aと手段Bとを備える装置」という表現の範囲は、構成要素Aおよび構成要素Bのみからなる装置に限定されるべきではない。

10

【 0 0 3 5 】

図1は、この発明に従った方法の好ましい一実施例の図形表現を示す。

この方法は、複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配することに関する。

【 0 0 3 6 】

エネルギーの流れは、当業者が適切であると考えらるあらゆるエネルギーの流れであってもよいが、好ましくは電気エネルギーの流れであり、より好ましくはデマンドサイドマネジメント (demand side management : D S M) を用いたスマートグリッドでの電気エネルギーの流れである。しかしながら、これはこの発明にとって決定的なものではなく、エネルギーの流れは、たとえば発生した熱がたとえばビルの別々の部屋に最適に分配され得るように、たとえばラジエータなどの別々の熱交換器に熱を分配する、といった熱の流れであってもよい。しかしながら、追加の例は、エネルギーの流れが、たとえば油、ガスや、たとえば木、紙などの固形可燃材料といった、エネルギーを生成可能な天然資源の流れである場合である。

20

【 0 0 3 7 】

クラスタは多くの異なる装置を含んでいてもよく、または実質的に1種類の装置を含んでいてもよい。たとえばクラスタは、たとえば1ブロックの住宅のうちの1世帯や別々の世帯の装置を共にグループ化してもよく、そのような場合のクラスタは家電を共にグループ化する。しかしながら、クラスタは、たとえば電気自動車、電気ヒータなどの装置を共にグループ化してもよい。クラスタは似た装置同士をクラスタになるよう共にグループ化してもよいが、それはまた、たとえばエネルギー要件が実質的に異なる工業用装置といった実質的に異なるいくつかの装置を含んでいてもよい。

30

【 0 0 3 8 】

上に挙げた装置の例の多くは作業を提供するのにエネルギーを必要とする装置であるが、クラスタはまた、作業からのエネルギーを提供する装置、すなわち、たとえば風力タービン、組合された加熱装置および電力装置、太陽光発電エネルギー装置といったエネルギーを生成する装置を含んでいてもよい。そのような装置については、電力は、作業するのにエネルギーを必要とする装置についての電力とは逆の符号を有しており、装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量は、前述のように逆の符号を有する電力の出力の最小量および最大量として言い表わされてもよい。

40

【 0 0 3 9 】

当業者の要件に依存して、たとえば2つの装置、3つの装置、4つの装置、5つの装置、6つの装置など任意の数の装置を、装置のクラスタになるようグループ化してもよい。しかしながら、クラスタの装置の最小量は好ましくは20であるが、この方法は、たとえば10万以上といった、クラスタにおける多数の装置を取扱うのに好適である。しかしながら、装置の量が増加すると、たとえばステップ2といったあるステップを行なうのに必要な時間が増加し、より特定のには線形に増加する。したがって、1つのクラスタにグループ化される装置の数は、この発明に従った方法のあるステップのために必要な時間を過度に増加させないことが好ましい。

50

【 0 0 4 0 】

装置のクラスタは、エネルギーの流れに実際に接続される装置を含み、および／または、予め定められた時間の間、最初はエネルギーの流れに接続されていないものの、予め定められた期間中、エネルギーの流れに接続される装置を含む。クラスタはたとえば、充電すべき電気自動車のグループを含んでいてもよく、それらの一部は予め定められた期間の最初にエネルギーの流れに接続され、残りは予め定められた期間中、たとえば到着時に車庫でエネルギーの流れに接続される。

【 0 0 4 1 】

第1の予め定められた期間とも呼ばれるこの予め定められた期間は、この発明に従った方法のために当業者が実際に使用可能な任意の期間であってもよい。しかしながら、装置へのエネルギー流は通常、概して人間であるそのユーザに関連するため、エネルギー流は通常、好ましい予め定められた期間が24時間であるように、1日、つまり24時間の周期性を有する。しかしながら、これはこの発明にとって決定的なものではなく、たとえば24時間の倍数、または12時間、もしくは12時間の倍数といった、通常エネルギーの流れのユーザに起因する、エネルギーの流れにおける通常の時間周期にすべて関連する他の期間も、当業者によって使用されてもよい。予め定められた期間はまた、1週間または1ヶ月であってもよく、週末などの他の周期を記録してもよい。期間はまた、クラスタの性質を念頭において決定されてもよい。たとえば、前述のクラスタは、洗濯機、乾燥機、食洗機などの家電を実質的に有するクラスタに適用される場合、特に好ましい。しかしながら、予め定められた期間はまた、クラスタがたとえばコンピュータ（オフィス環境）、重機（工業用環境）などの作業環境で使用される装置を共にグループ化する場合には、たとえば8時間などの通常の1日の労働時間の関数であってもよい。別の例によれば、装置は車であり、クラスタは、たとえば充電ステーションを有する電気自動車用の車庫で充電すべき車を共にグループ化する。そのような例では、予め定められた期間は、たとえば買物、仕事など、人々が自分達の車を車庫に停めた理由などに依存して、車の通常停留時間に適合される。

【 0 0 4 2 】

図2および図3は、たとえば、24時間または1日である15分×96という予め定められた時間を示す。

【 0 0 4 3 】

制約は、たとえば、利用可能性、エネルギーの価格、エネルギーの価格におそらく反映される利用可能性、たとえば過電流の発生を考慮した、ある接続を通してクラスタの装置からたとえば電気エネルギーなどのエネルギーの流れに流すことができるエネルギーの最大量、たとえばエネルギーの流れが変圧器を通してクラスタに配給される場合にクラスタに配給可能な最大電力など、任意の制約であってもよい。

【 0 0 4 4 】

好ましくは、この発明に従った方法は、本願の文脈ではアグリゲータと呼ばれるコンピュータによって行なわれる。コンピュータには、別々の装置が、たとえばLANを通して、たとえばイントラネットを用いて、またはWANを通して、たとえばインターネットを用いて相互接続される。クラスタの別々の装置がLANを用いて直接相互接続されることは、可能ではあるが必要ではない。

【 0 0 4 5 】

クラスタの別々の装置にエネルギーの流れを提供するために、クラスタのそれぞれの装置が1つのグループとして、単一のラインを用いてエネルギーの流れに相互接続されることも必要ではなく、たとえば単一の世帯においてしばしばあるように、それぞれの装置は各々、他の装置から独立してエネルギーの流れに接続可能である。

【 0 0 4 6 】

この発明によれば、第1のステップAで、クラスタにおけるそれぞれの装置のフレキシビリティ情報が、好ましくはアグリゲータによって収集される。それぞれの装置のフレキシビリティ情報は、装置が既に利用可能なエネルギー、時間関数での予め定められた期間内

10

20

30

40

50

にクラスタのそれぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量、ならびに装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量についての情報を含む。

【0047】

図1では、フレキシビリティ情報は、それぞれの装置についてのフレキシビリティ曲線として図形表示されており、X軸が時間を表わし、Y軸がそれぞれの装置によって蓄積されたエネルギーを表わす図面におけるそれぞれの装置についてのそれぞれの区域として表わされている。この区域は、それぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を表わす2本の曲線によって、範囲が定められている。図1の図面における曲線の傾斜は、それぞれの装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量を示す。

10

【0048】

アグリゲータによる装置のフレキシビリティの収集1は、たとえば、別々の装置が、それらのそれぞれのフレキシビリティ情報を、それぞれの装置のフレキシビリティ情報を収集するアグリゲータに送信することを含む。

【0049】

フレキシビリティ情報はたとえば、クラスタの少なくとも1つの装置に格納され、ステップAは、フレキシビリティ情報をコンピュータに送信することを含む。たとえば、装置は、たとえば装置の生産設備におけるプログラミングされたメモリを含み、そこにフレキシビリティデータが格納される。

20

【0050】

クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報はまた、少なくとも1つの装置の時間関数でのエネルギーの使用を監視することによって得られてもよい。この情報はたとえば、アグリゲータが装置からフレキシビリティ情報を得るようにアグリゲータによって監視されてもよく、または、装置自体によって、たとえば装置に存在するプロセッサによって監視されてもよく、その後、結果として得られたフレキシビリティ情報は、たとえば装置に格納され、および/またはアグリゲータに送信される。

【0051】

次のステップで、クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報は、好ましくはアグリゲータによって、クラスタについての集約されたフレキシビリティ情報になるよう組合される。クラスタのフレキシビリティ情報は、あまりに多くのエネルギーの蓄積を回避するなどのために、クラスタが既に利用可能なエネルギーについての情報を含む。また、フレキシビリティ情報は、時間関数での予め定められた期間内に少なくとも1つの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を、時間関数での予め定められた期間内に考慮した、クラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を含む。さらに、クラスタのフレキシビリティ情報は、少なくとも1つの装置によって許可される電力摂取の最小量および最大量を考慮した、時間関数でのクラスタによって許可される電力摂取の最小量および最大量を含む。

30

【0052】

このステップはたとえば、図1に例示されており、それぞれの装置についての別々のフレキシビリティ曲線が、図面における、クラスタについてのフレキシビリティ曲線と呼ばれるクラスタについての単一の区域になるよう組合されている。図面において、X軸が時間を表わし、Y軸がクラスタによって蓄積されたエネルギーを表わす。この区域は、クラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量および許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を表わす2本の曲線によって、範囲が定められている。図1の図面における曲線の傾斜は、クラスタによって許可される電力摂取の最小量および最大量を示す。

40

【0053】

好ましくは、クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報をクラスタにつ

50

いての集約フレキシビリティ情報になるよう組合せることは、それぞれの装置によって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量を追加すること、それぞれの装置によって許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量を追加すること、それぞれの装置の時間関数での電力の最小量を追加すること、およびそれぞれの装置の時間関数での電力の最大量を追加することを含む。しかしながら、これはこの発明にとって決定的なものではなく、クラスタの少なくとも1つの装置のフレキシビリティ情報をクラスタについてのフレキシビリティ情報になるよう組合せることは、たとえば畳込みによって行なわれてもよい。

【0054】

次に、たとえばクラスタによって許可される電力摂取の最小量および最大量および装置に配給すべきエネルギーに関する制約のようなクラスタについての集約フレキシビリティ情報を考慮して、好ましくはクラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量が実現されるように、予め定められた期間にわたって、時間関数でのクラスタに配給すべき蓄積エネルギーが、好ましくはアグリゲータによって決定される(3)。

【0055】

このステップ3は、たとえば図1に例示されている。図1は、時間関数での決定された蓄積エネルギーが、クラスタによって必要とされる時間関数での蓄積エネルギーの最小量と許可される時間関数での蓄積エネルギーの最大量との間の曲線として表わすことができることを示している。

【0056】

好ましくは、予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーの決定は、線形計画法および確率的計画法、好ましくは動的計画法のうちのいずれか1つを用いて行なわれる。

【0057】

【数1】

このステップの目的は、クラスタについての集約フレキシビリティ情報を通して最良の経路を見つけることによって、クラスタの充電をスケジュール化することである。この問題はたとえば最短経路問題として考えられてもよく、このため、たとえばスケジューリングモデルにおいて別々の費用関数を容易に一体化することができる。この最短経路問題を解くために、図1にフレキシビリティグラフとして表わされたクラスタについての集約フレキシビリティ情報は、「エネルギー状態」 E_t で離散化される。各エネルギー状態 E_t は好ましくは、時間 t の後にクラスタによって差し引かれるエネルギー E の量を表わす。各エネルギー状態 E_t では、充電行動の有限集合 $\Gamma(E_t)$ が可能である。各充電行動 a_t は、エネルギー状態 E_t から新しいエネルギー状態 E_{t+1} へのエネルギー遷移をもたらすであろう。 $\Gamma(E_t)$ の要素である行動 a_t を通した E_t から E_{t+1} への遷移は、関数 $E_{t+1}=T(E_t, a_t)$ によって定義される。 $\Gamma(E_t)$ の要素であるすべての t について、以下の制約が好ましくは成立する：

$$E_{t+1} - E_t \geq 0$$

$$E_{t+1} - E_t \leq P_t \cdot \Delta t$$

$$E_{t+1} < E_t^{\max}$$

$$E_{t+1} \geq E_t^{\min}$$

【0058】

第1の制約は、エネルギー遷移が常に正であることを要求する。場合によっては、たとえば、充電すべき装置、たとえば車、より特定的には電気自動車、たとえばハイブリッドカーなどが、エネルギーの流れ、たとえばそれらが接続されている配電網にエネルギーを与えられる状況、すなわちV2G (Vehicle to Grid) としても知られる状況では、この制約は緩和されてもよい。第2の制約は、グリッド仕様に従って P_t への電力を制限するグ

10

20

30

40

50

リッド制約である。最後に、第 3 および第 4 の制約は、エネルギー状態がエネルギーフレキシビリティグラフの制限内にあることを確実にする。

【 0 0 5 9 】

行動 a_t の費用は、たとえば、目的関数 $F(E_t, a_t)$ を通して検討されたビジネス実例によって定義される。決定問題は状態 E_0 で始まり状態 E_{end} で終わるため、最小化すべき完全な目的関数は好ましくは、 $t = 0 \sim t_{dep}$ までのすべての値 $F(E_t, a_t)$ の合計として定義される。

【 0 0 6 0 】

最短経路決定問題についての公知の解法は実際、DP（動的計画法）である。一般に、DP は、1 組の重複する下位問題に分解可能な問題を解くために得られる。計算時間を減少させるために、DP は各下位問題を 1 回しか解かない。DP におけるベルマン方程式はたとえば、これらの下位問題の解を帰納的関数 V として定義する。フレキシビリティグラフを通る最良の経路に関しては、ベルマン方程式は以下のように定義されている。

【 0 0 6 1 】

【数 2】

$$V(E_t) = \min_{a_t} \{ F(E_t, a_t) + V(E_{t+1}) \}$$

この式を解いた結果は、目的関数を最小化する一連の行動である。行動がエネルギーを充電することである我々の問題に関しては、この一連の行動は、全フリートについての充電計画 \vec{E}_{t_Δ} である：

$$\vec{E}_{t_\Delta} = \{ E_1 E_2 E_3 \dots E_T \}$$

【 0 0 6 2 】

加えて、たとえば装置のフレキシビリティデータが格納されていない場合、予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーは、強化学習を用いて決定される。そのようなプロセスは、たとえば図 3 に例示されており、1 日後（図 3 a）、2 日後（図 3 b）、3 日後（図 3 c）、および 4 日後（図 3 d）の、強化学習によって決定された、予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーが例示されている。予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーは、時間関数でのクラスタによって必要とされる蓄積エネルギーの最小量および許可される蓄積エネルギーの最大量によって範囲を定められた区域において、実線として示されている。決定された予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーによって 4 日で到達された最小値および最大値は、点線として示されている。決定された予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーによって 4 日で到達された最小値および最大値は、時間関数でのクラスタによって必要とされる蓄積エネルギーの最小量および許可される蓄積エネルギーの最大量により近づいていることが観察できる。すなわち、より最適な決定された予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーが得られるように、時間関数でのクラスタによって必要とされる蓄積エネルギーの最小量および許可される蓄積エネルギーの最大量によって範囲を定められた区域の大部分からの情報を用いて、決定された予め定められた期間にわたった時間関数での配給すべきエネルギーが得られる。

【 0 0 6 3 】

次のステップ C で、決定された蓄積エネルギーに基づいた、時間関数でのクラスタに供給すべき電力をエネルギーの流れから得る（4）ことにより、決定されたクラスタへの蓄積エネルギーがクラスタに供給される。このエネルギーは、たとえば、電気についてのオンラインオークションで、クラスタについての決定された蓄積エネルギーとクラスタにとって必要な関連する電力とに基づいた公知の入札手法を用いて得られる。この入札は図 1 にも、仮想オークション場であることが多いオークション場 9 を指す矢印として例示されている。得られた電力のクラスタへの供給をさらに説明する。

【 0 0 6 4 】

10

20

30

40

50

次のステップ5で、それぞれの装置のフレキシビリティ情報に基づいて、クラスタにおける全装置について供給すべき電力の優先度が決定される。これはたとえば図1に示されており、装置のフレキシビリティ曲線に基づいて、クラスタにおける全装置について、電力の優先度、より特定のには優先度関数での電力として決定された電力の優先度が決定され、装置についての電力優先度曲線として例示されている。

【0065】

このステップは、クラスタのそれぞれの装置がそれらのそれぞれのフレキシビリティ情報を用いることによって、または積算器が収集されたフレキシビリティ情報を用いることによって、実行可能である。

【0066】

それぞれの装置についての優先度関数での電力の優先度は好ましくは、それぞれの装置についての電力摂取の最大量に最小の優先度が対応し、それぞれの装置によって許可される電力摂取の最小量に最大の優先度が対応するように決定され、電力と優先度とのそれぞれの関係は、予め定められた時間量において装置によって必要とされるエネルギーの最小量を示しており、電力と優先度との関係は時間関数で変化する。これはたとえば図1に例示されている。

【0067】

好ましくは優先度関数である供給すべき電力の優先度は、装置によって許可される時間関数での最大および最小電力摂取によってそれぞれ課される制限を尊重しつつ、時間関数での装置によって必要とされる蓄積エネルギーの最小量および許可される蓄積エネルギーの最大量を超えないように、それぞれ決定される。したがって、供給すべき電力の優先度も時間関数で変化する。それぞれの装置の優先度関数での電力として決定される電力のそのような優先度の例を、たとえば図1に示す。

【0068】

より好ましくは、それぞれの装置についての電力のそれぞれの優先度は、クラスタについての供給すべき電力の集約優先度になるよう、好ましくは積算器によって組合され(7)、図1にクラスタについての電力優先度曲線として例示される。

【0069】

この後、クラスタの優先度関数での得られた集約電力を用いて、エネルギーの流れから得られた電力に対応する優先度がクラスタについて得られ、その後、得られたクラスタの優先度に基づいて、それぞれの装置の優先度関数での供給すべき電力のそれぞれの優先度を用いて、それぞれの装置について供給すべき電力の優先度が決定されるとともに、クラスタの装置に分配される(6)。これはアグリゲータによって集中的に行なわれてもよいが、優先度は図1に示すように装置に分配され(6)てもよく、各それぞれの装置は、優先度関数での電力として決定された電力の以前に得られた優先度を用いて、クラスタについて決定された優先度に対応する電力を決定し、各装置は、決定された電力をエネルギーの流れから得る。

【0070】

この最後のステップは、たとえば図1に例示されており、クラスタについて得られた優先度は、クラスタの3つの装置についての3つの電力優先度曲線で示され、同じ優先度がそれぞれの装置についての電力の異なる優先度を引起こしている。この電力は次に、たとえば電気を許可するスイッチを用いて、装置によってエネルギーの流れから得られる。これは図1に、得られた電力の分配を示す矢印6によって例示されている。特に、好ましくは、クラスタについて得られた優先度よりも低い電力の優先度を有する装置は、多くても最小の電力で電力を引出し、一方、クラスタについて得られた優先度よりも高い電力の優先度を有する装置は、 p_{min} と p_{max} との間の充電電力で電力を引出すであろう。

【0071】

クラスタについてエネルギーの流れから得られた電力に対応する優先度を得る(8)ことは図1に例示されており、クラスタの優先度関数での電力として決定された電力の優先度を表わす曲線と、決定されたエネルギーの蓄積量の傾斜を表わす曲線との交点によって、優

10

20

30

40

50

先度が決定され得ることが示されている。決定されたエネルギーの蓄積量の傾きを表わす曲線は、優先度を表わす軸と実質的に水平であることが見てわかる。しかしながら、これはエネルギーにとって決定的なものではなく、決定されたエネルギーの蓄積量の傾きを表わす曲線は傾斜していてもよい。好ましくは、エネルギーの流れから得られた優先度関数での電力から優先度関数での集約電力を減算し、さらに結果として得られた優先度関数での電力から実質的にゼロに最も近い電力を有する優先度を決定することによって、エネルギー流からの得られた電力を使用する優先度は決定される。しかしながら、供給電力のそのような分配はこの発明にとって決定的なものではなく、他の分配手法も可能である。

【 0 0 7 2 】

好ましくは、それぞれの装置について、エネルギーの流れから得られた電力に対応する優先度が、それぞれの装置の優先度関数での電力として決定された電力の優先度を用いてさらに得られ、その後、エネルギーの流れから得られた電力は、それぞれの装置の得られた優先度に基づいてそれぞれの装置に分配される。

【 0 0 7 3 】

好ましくは、図面には例示されていないものの、ある量の電力を最大の優先度で要求している装置には、その量の電力がエネルギーの流れから提供される。

【 0 0 7 4 】

図 2 は、この発明に従った方法を用いた、時間関数でのクラスタによる蓄積エネルギーの進展の一例を示す。

【 0 0 7 5 】

示された別々の図面は、X 軸に時間（15 分単位で示す）、Y 軸に蓄積エネルギー（kWh 単位で示す）を有しており、別々の曲線を示している：

- ・第 1 の曲線 1 1 は、クラスタのフレキシビリティ情報を表わす；
- ・第 2 の曲線 1 2 は、エネルギーの流れにまだ接続されていない装置のフレキシビリティ情報を除外した、クラスタのフレキシビリティ情報を表わす。言い換えれば、第 1 の曲線 1 0 は、たとえば以前の事象のデータに基づく予測に基づいた将来の情報を含み、一方、第 2 の曲線 1 1 は現在の情報のみを含む；
- ・第 3 の曲線 1 3 は、第 1 の曲線 1 1 によって例示されたクラスタについての、時間関数での決定された蓄積エネルギーを表わす；
- ・第 4 の曲線 1 4 は、時間関数での制約を表わす；
- ・第 5 の曲線 1 5 は、決定された蓄積エネルギーに対応する時間関数での電力を表わすが、この関数については、Y 軸はもはや kWh 単位で示されたエネルギーではなく、代わりに電力である。第 5 の曲線 1 5 は単に例示的な目的のために与えられている。

【 0 0 7 6 】

例示された場合では、この発明に従った方法は、複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、この場合 24 時間すなわち 15 分 × 96 である第 1 の予め定められた期間 1 6 にわたって、複数の装置のクラスタへのエネルギー流を最適化するために使用されており、この発明に従ったステップは 15 分 × 6 である第 2 の予め定められた期間 1 7 毎に繰返し行なわれ、第 2 の期間 1 7 は第 1 の予め定められた期間 1 6 よりも短い。図を見てわかるように、この発明に従った方法のそのような循環は、共に時間変動する制約および装置のフレキシビリティ情報に依存して、時間関数での決定された蓄積エネルギーを変化させることを可能にする。

【 0 0 7 7 】

さらに、それぞれの装置についての供給すべき電力の優先度は、第 3 の予め定められた期間 1 8 の後で決定され、それは時間関数での決定された蓄積エネルギー上の点を用いて示されている。第 3 の予め定められた期間 1 8 は、たとえば 1 分、数分、またはそれ以下、たとえば数秒、さらには 1 秒である。これにより、装置によってエネルギーの流れから得ることができる電力を得るために使用されるクラスタについて得られるエネルギーの流れから得られる電力に対応する優先度が定期的に更新され、エネルギーの流れから得るべき電力を定期的に得ることができ、また、新しい装置がクラスタに追加されるといった変化に対応

できるようになっている。したがって、好ましくは、第3の予め定められた期間18は、第2の予め定められた期間17よりも短い。

【0078】

たとえば、第2の期間17内に新しい装置がクラスタに追加された場合、予め定められた第1の期間16にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき決定された蓄積エネルギーは、変化しないであろう。なぜなら、第2の期間17はまだ終わっておらず、したがって新たに追加された装置はまだ、予め定められた第1の期間にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき決定された蓄積エネルギーについて考慮されていないためである。しかしながら、第3の期間18は第2の期間17よりも短いため、新たに追加された装置は少したってから、クラスタの装置に供給電力を分配する際に考慮されるであろう。予め定められた第1の期間16にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき決定された蓄積エネルギーは実質的に追従されるが、厳密に追従されることはないであろう。第2の期間17が終わるとこの状況は修正され、新たに追加された装置は、予め定められた第1の期間16にわたった時間関数でのクラスタに配給すべき決定された蓄積エネルギーに取り入れられるであろう。

10

【0079】

第1の期間16、第2の期間17、および第3の期間18を、異なる期間の時間関数での概要を示す図4に例示する。

【0080】

この発明に従った方法およびシステムで得ることができる改良を示すために、一連の集中型ベンチマーク解、すなわち、この発明に従った方法のエージェントベースの実施例、有限範囲を有するオンライン集中型QP法、および無限範囲を有する集中型オフラインQPが提示される。これらの集中型ベンチマーク解は、局所的なおよび大域的な目的の点で最善の解を保証できるが、拡張性の点で制限されている。この評価の目標は、拡張性を改良しつつ、局所的なおよび大域的な目的の点でどの程度まで方法および/またはシステムが最善の解に達するかを判断することである。

20

【0081】

検討されるシナリオは、住宅区域の局所的な分配網で利用可能なグリッド接続を有するPHEVのフリートである。このフリートにおけるすべてのPHEV (plug-in hybrid electric vehicles: プラグインハイブリッド電気自動車) は、そのフリートを充電するエネルギー総費用を最小限に抑えたいフリートマネージャによって契約されている。PHEVは、電気モータおよび燃焼機関を共に有し、プラグを通して充電可能なバッテリーも有する車である。PHEVは電気発生および消費における変動を管理するための多大な機会を提供するので、スマートグリッドにおける電気自動車の調整された充電は重要な研究項目である。

30

【0082】

1) フリートマネージャ: フリートマネージャの(大域的な)目的は、そのフリートの充電費用を最小限に抑えることである。PHEVを充電するのに必要なエネルギーは、卸売市場で購入される。PHEVを充電することによって生じる費用は、1時間ベースの費用モデル $C_h(E_h)$ で説明される。

40

【0083】

2) PHEVオーナー:

PHEVオーナーの(局所的な)目的は、出発前に自分の車を充電することである。したがって、PHEVオーナーは、帰宅した際に自分の出発時間を提供する。PHEV運転挙動の予測は、統計的利用可能性モデル[17]に基づいている。このモデルは、毎分ベースの車の状態(自宅、運転中、仕事、その他)を表わす。また、実際のPHEVを表わすために、シボレーボルト(CHEVROLET VOLT)(ゼネラルモーターズ製)が選ばれている。この比較的新しいPHEVは、2010年末に生産に入った。

【0084】

エネルギー費用モデルは費用関数 $C_h(E_h)$ に基づいており、それは毎時 h の電気の発生

50

または分配の費用を表わしており、熱発生器についての二次費用関数に基づいている。

【 0 0 8 5 】

【 数 3 】

$$C_h(E_h) = a_h E_h^2 + b_h E_h + c_h$$

【 0 0 8 6 】

式中：

- ・ a_h は、電気の卸売価格；
- ・ E_h は、全フリートの負荷；
- ・ b_h および c_h は、簡潔にするために 0 と仮定されている。

10

【 0 0 8 7 】

1 時間毎の卸売価格は、2010 年用のベルギー電力交換プラットフォームベルベックス (Belpex) から使用される。日足価格の典型的な形状は、夜間は価格が低く、夕方は価格が高い。

【 0 0 8 8 】

説明されたシナリオにおけるこの発明に従ったエージェントベースの方法および / またはシステムを評価するために、2 つの集中型ベンチマーク解が定義される。これらの解の双方は、二次費用関数に向けて最適化するよう、QP (Quadratic Programming: 二次計画法) に基づいている。第 1 のベンチマークは、オンライン QP 解である。PHEV のフレキシビリティを集約する代わりに、オンライン解は、個々の PHEV からのフレキシビリティ情報を用いてそれらのエネルギー使用をスケジュール化する。第 2 のベンチマークは、オフライン QP 解であり、それは、将来の全 PHEV の完全かつ正確なフレキシビリティ情報に基づいてオフラインスケジュールを作成する。この発明に従ったエージェントベースの方法および / またはシステムについての大域的な目的関数およびベンチマーク解は、以下のとおりである：

20

【 0 0 8 9 】

【 数 4 】

$$\text{cost}_{\text{total}} = \sum_{t=0}^{t_{\text{horizon}}} C_h(E_h)$$

30

【 0 0 9 0 】

式中：

- ・ t_{horizon} は、最適化範囲 (この発明に従った解およびオンライン QP 解については t_{depart} に限定され、オフライン QP 解については限定されない) ；
- ・ E_h は、時間 h に全フリートによって充電されるエネルギー；
- ・ C_h は、エネルギー費用モデルである。

【 0 0 9 1 】

局所的な世帯の電力動作限界および PHEV のインタイム充電は、制約として一体化される。

【 0 0 9 2 】

40

次に、この発明に従ったエージェントベースのアプローチは、局所的な、つまり短期の目的、およびより大域的な、つまり長期の目的の最適化の点でベンチマーク化される。我々のシナリオでは、より大域的な目的は、充電費用を最小限に抑えることであり、局所的な目的は、出発前に PHEV を十分に充電することである。PHEV の運転時間について情報が利用できない場合 (この発明に従った方法およびオンラインベンチマーク)、PHEV は、それらの住宅接続の電力制限を考慮して最大限に充電される。運転時間についての情報が利用可能な場合 (オフラインベンチマーク)、PHEV はそれらの電気による運転時間を最大化するよう充電される。

【 0 0 9 3 】

充電総費用は、31 日間に 100 台というシナリオのシミュレーションで評価される。

50

各解は、1台の車について異なる運転周期で100回シミュレーションされる。各解についての総費用の分布が、ヒストグラムにプロットされた。ヒストグラムの右端では、多くの車が夕方に着き、費用が最も高い間に充電を開始するため、制御不能の充電が位置していたことがわかった。ヒストグラムの左端では、オフラインベンチマークが位置しており、最適化範囲が無限であるため、最も低い充電費用を生み出していた。

【0094】

オフライン解の結果とオンライン解の結果との差異は、「オンラインギャップ」と呼ばれる。このギャップは、オンライン解は将来の視野が狭く、一方、オフライン解は無限の時間範囲内で最適化可能であるという事実固有のものである。オフラインベンチマーク解の結果には、平日はPHEVが電気で運転するのにちょうどいい程度充電されることが示されている。これに対し、週末は、PHEVは、通常より低い電気料金から恩恵を受けるよう、十分に充電される。実際の設定では、この解は望ましくない。なぜなら、PHEVオーナーは事前に自分の運転時間を正確には知らないためである。

【0095】

エージェントベースのMPCアプローチの充電総費用と、オンラインベンチマークの充電総費用とは似ている。オフラインベンチマークはすべての情報を有し、制御不能な充電はないが、オンラインベンチマークは、エージェントベースのMPCアプローチと全く同じ量の情報を有する。唯一の違いは、オンラインベンチマークがPHEVを個々にスケジュール化する一方、この発明のアプローチに従ったエージェントベースの方法および/またはシステムは3段階の調整機構を使用することである。平均的には、オンラインベンチマークは、この発明に従ったアプローチよりも充電総費用が1.5%低く、優れていた。この差異を、典型的な1日走行のシミュレーションで分析した。この日、オンラインベンチマークは、エージェントベースのMPC解よりも1.4%優れていた。発明者らによれば、この差異は、グリッドから得られたエネルギーのPHEV間での準最適な分割の直接的結果のようである。この発明に従った装置に得られた電力を分配するために採用される優先度手法は、オンラインベンチマークのようなPHEV間での完全な分割を確実にしてはいないものの、にもかかわらず、PHEVの出発時間、必要とされるエネルギー、および最大充電電力間で重み付けを行なうことにより、近い近似値が達成される。

【0096】

評価の次の部分では、コンピュータを使用して、この発明に従ったエージェントベースのアプローチの実行時間をオンラインQP解と比較することにより、この発明に従ったエージェントベースのアプローチの拡張性がベンチマーク化される。PHEVのスケジューリング問題は凸最適化問題として定義可能なため、QP解の実行時間は多項式によって制限されることが公知である。進行する実験では、この多項式は概算され、MPCアプローチの時間複雑性と比較される。

【0097】

問題のスケールを示すPHEVのスケジューリング問題への入力、車の台数（垂直拡張性）とそれらのスケジューリング範囲の長さ（水平拡張性）とによって定義される：

1) 垂直拡張性：エージェントベースのMPCアプローチの垂直拡張性を評価するために、10,000~100,000台の車が144タイムスロット（たとえば、10分というタイムスロットでは1日）の範囲内でスケジューリングされる。各シミュレーションは異なるPHEVで10回繰返される。その結果、この発明に従ったエージェントベースの方法の実行時間は一定であり、一方、集中型解は三次多項式としてスケールリングする；

2) 水平拡張性：この発明に従ったエージェントベースのMPCアプローチの水平拡張性を評価するために、50,000台の車が10~140タイムスロットの増加するスケジューリング範囲内でスケジューリングされる。各シミュレーションは異なるPHEVで10回繰返される。その結果、エージェントベースのMPC解の実行時間は線形にスケールリングし、一方、集中型解は五次多項式としてスケールリングする。

【0098】

要約すると、この発明に従ったエージェントベースの解は、PHEVフリートサイズと

10

20

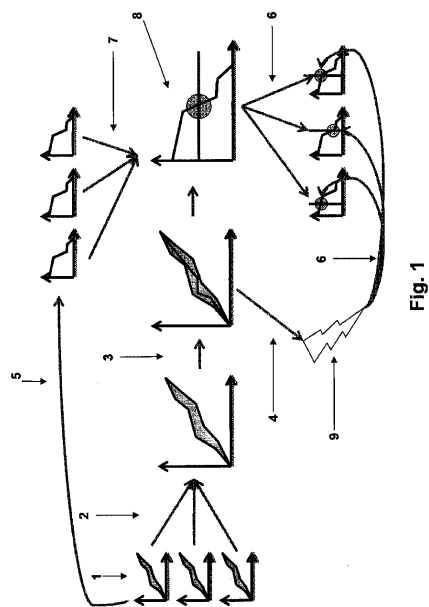
30

40

50

は独立した最適化による垂直拡張性に関する一定の実行時間と、水平拡張性に関する線形の実行時間とを確実にする。拡張性の双方の方向について、オンラインベンチマークは、多項式時間複雑性を有し、この発明に従った解よりも数桁遅く解を計算する。

【図 1】



【図 2】

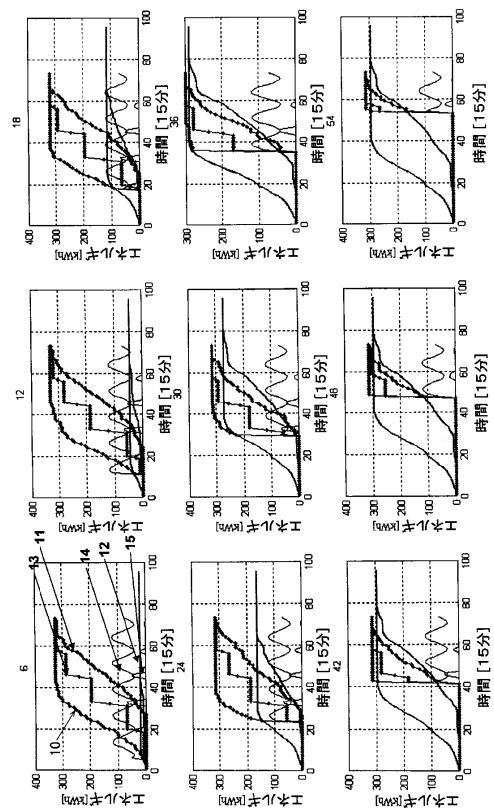


Fig. 2

【図 3】

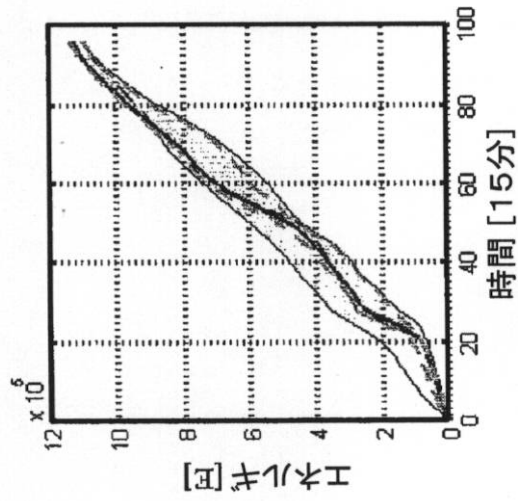


Fig. 3b

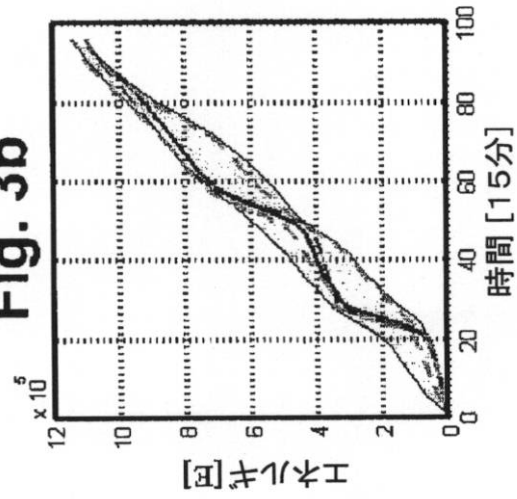


Fig. 3d

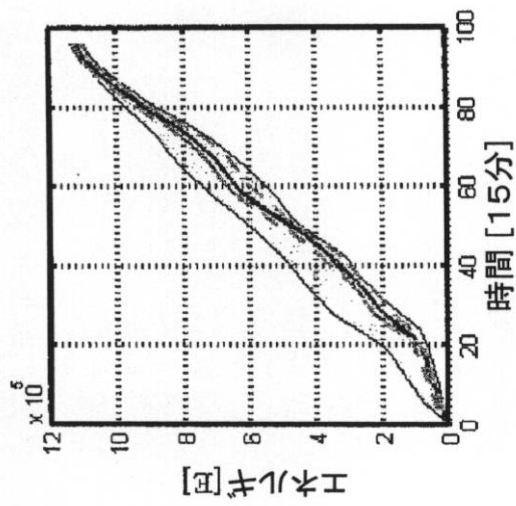


Fig. 3a

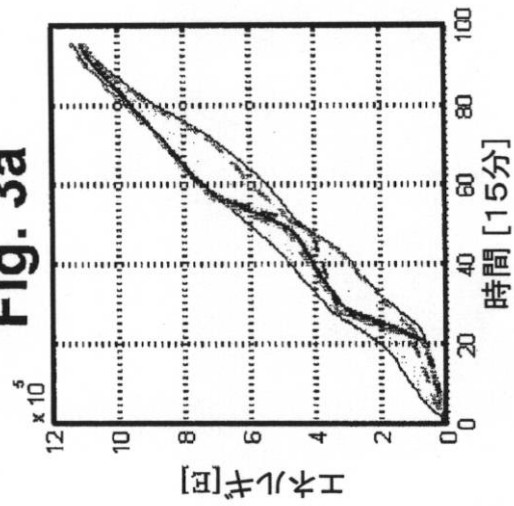


Fig. 3c

【図 4】

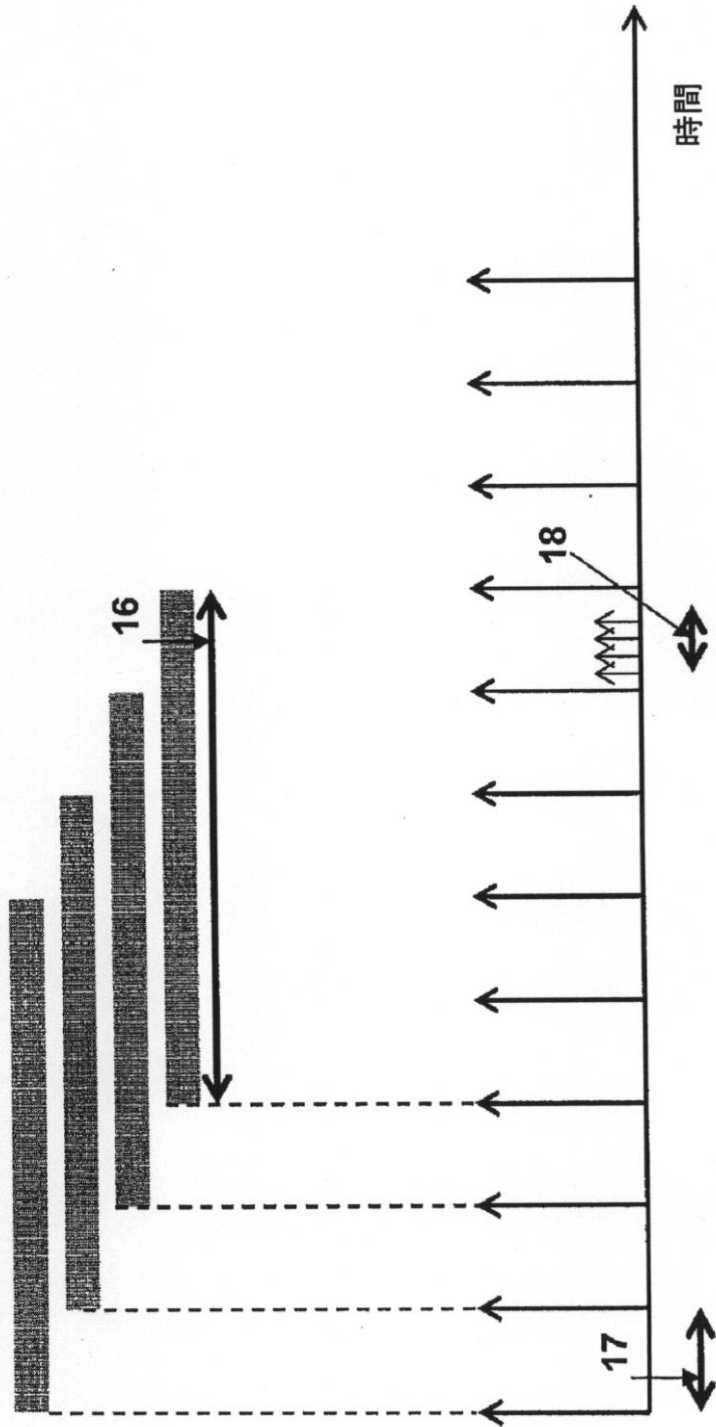


Fig. 4

フロントページの続き

(72)発明者 ホメルベルク, マールテン
オランダ、エン・エル - 1078 アー・ゼット・アムステルダム・ゼット・エー、アムステルカ
デ、169、アー - ハー・エス

審査官 大野 朋也

(56)参考文献 米国特許出願公開第2009/0228324 (US, A1)
特開2010-081722 (JP, A)
米国特許出願公開第2008/0046387 (US, A1)
米国特許出願公開第2009/0319090 (US, A1)
国際公開第2010/096506 (WO, A1)
国際公開第2011/014073 (WO, A2)
特開2005-245180 (JP, A)
特開2005-102364 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06Q 10/00 - 50/34
H02J 3/00
H02J 3/14

(54)【発明の名称】複数の装置に配給すべきエネルギーに関する制約を考慮して、予め定められた期間にわたって複数の装置のクラスタにエネルギー流を分配するための方法、そのような方法を行なうためのコンピュータプログラム、およびそのためのシステム