



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년08월10일
(11) 등록번호 10-1647060
(24) 등록일자 2016년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/06 (2012.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/06 (2013.01)

Y04S 50/10 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0030417

(22) 출원일자 2015년03월04일

심사청구일자 2015년03월04일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020110117469 A*

KR1020140088829 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

김승욱

서울특별시 송파구 위례성대로 50 (방이동, 한솔빌라트) 701호

박영재

부산광역시 수영구 광안해변로 386 106동 3201호 (민락동, 롯데캐슬자이안트아파트)

(74) 대리인

이지연

전체 청구항 수 : 총 5 항

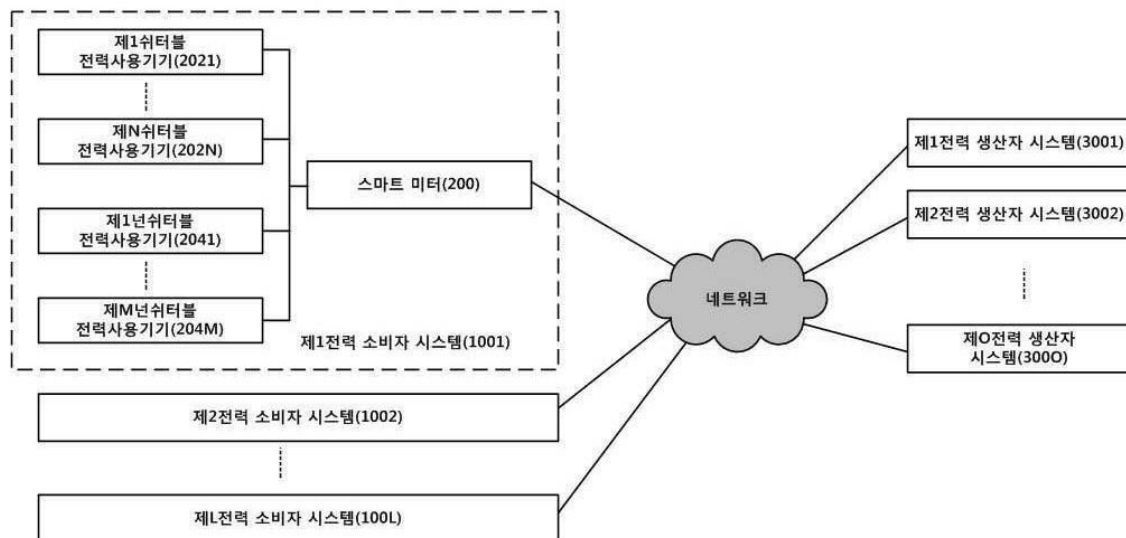
심사관 : 백양규

(54) 발명의 명칭 스마트 그리드 시스템

(57) 요약

본 발명에 따르는 스마트 그리드 시스템은, 미리 정해진 주기마다 전력 요구량을 산출하여 외부로 전송하고, 외부로부터 시간별 가격정보를 제공받아 그 시간별 가격정보에 따라 전력사용을 조정하는 다수의 전력 소비자 시스템; 및 상기 다수의 전력 소비자 시스템으로부터 전력 요구량에 대한 정보를 제공받아 시간별 가격정보를 생성하고, 그 시간별 가격정보를 상기 다수의 전력 소비자 시스템으로 전송하는 전력 생산자 시스템;으로 구성됨을 특징으로 한다.

대표도



공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

스마트 그리드 시스템에 있어서,

미리 정해진 주기마다 전력 요구량을 산출하여 외부로 전송하고, 외부로부터 시간별 가격정보를 제공받아 상기 시간별 가격정보에 따라 전력사용을 조정하는 다수의 전력 소비자 시스템; 및

상기 다수의 전력 소비자 시스템으로부터 전력요구량에 대한 정보를 제공받아 시간별 가격정보를 생성하고, 상기 시간별 가격정보를 상기 다수의 전력 소비자 시스템으로 전송하는 전력 생산자 시스템;으로 구성되며,

상기 전력 생산자 시스템은 수학적 9 내지 11에 따라 시간대별 가격정보를 생성하며,

상기 전력 생산자 시스템은 수학적 12 및 수학적 13에 따라 상기 가중치 ω 를 결정함을 특징으로 하는 스마트 그리드 시스템.

수학적 9

$$p_n^{t_d} = p^{t_0} \times \left\{ 1 + \left(\frac{x_n^t}{q_n^t} \right) \right\} \quad \text{s.t.} \quad p^{t_0} = \frac{\left(\sum_{n=1}^N q_n^t \right)^\psi}{\sum_{n=1}^N q_n^t}$$

상기 수학적 9에서 $p_n^{t_d}$ 는 사용자측이 제시한 가격이고, p^{t_0} 는 초기 판매가격이고, x_n^t 은 t 시간에서의 n 사용자의 전력 사용량이고, ψ 는 비용함수 속성값이고, N 는 전력 사용 총인원이고, n 는 전력 사용자를 가리키는 식별번호이고, q_n^t 는 전력 사용자 n의 t시간대의 전력 요구량임.

수학적 10

$$p^{t_s} = p^{t_0} \times \left\{ 1 + \left| \frac{\sum_{n=1}^N q_n^t - Q_{\text{avg}}}{\sum_{n=1}^N q_n^t} \right| \right\} \quad \text{s.t.} \quad Q_{\text{avg}} = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N q_n^t}{T}$$

상기 수학적 10에서 p^{t_s} 는 전력 생산자 측에서 제시하는 가격이고, T는 미리 정해진 값임.

수학적 11

$$p^t = \omega \times p^{t_s} + (1 - \omega) \times p^{t_d}$$

상기 수학적 11에서, p^t 는 최종적인 시간별 가격이고, 가중치율 ω 는 가중치임.

수학식 12

$$(x_s^*, x_d^*) = \left(\frac{1 - \delta_d}{1 - \delta_s \delta_d}, \frac{\delta_d (1 - \delta_s)}{1 - \delta_s \delta_d} \right)$$

$$(x_s^*, x_d^*) \in \mathbf{R}^2 : x_s^* + x_d^* = 1,$$

$$\delta_d(r) = 1 - \frac{e^{\pi^r} - e^{-\pi^r}}{e^{\pi^r} + e^{-\pi^r}} \quad \text{s.t.} \quad \frac{d\delta_d(r)}{dr} < 0,$$

$$\delta_d(0) = 1, \text{ and } \delta_d(\infty) = 0,$$

$$x_s^* \geq 0, x_d^* \geq 0, \text{ and } 0 \leq \delta_d, \delta_s \leq 1.$$

$$\delta_s(r) = \frac{e^{\pi^r} - e^{-\pi^r}}{e^{\pi^r} + e^{-\pi^r}} \quad \text{s.t.} \quad \frac{d\delta_s(r)}{dr} > 0,$$

$$\delta_s(0) = 0, \text{ and } \delta_s(\infty) = 1,$$

상기 수학식 12에서 x_s^* 는 가중치율 ω 이고, x_d^* 는 가중치율 $1 - \omega$ 가 된다. 그리고 $\delta_d(r)$ 와 $\delta_s(r)$ 는 각각 R 시간대의 기여도를 나타내는 π^r 에 기반한 전력 사용자와 제공자의 할인율임.

수학식 13

$$\pi^r = 1 - \frac{Q_{avg} - \left(\sum_{n=1}^N q_n^t \right)}{\sum_{n=1}^N q_n^t} \quad \text{s.t.} \quad \pi^r < 2.$$

상기 수학식 13에서 π^r 는 전력 효율을 위한 기여도이고, Q_{avg} 는 평균 전력 사용량이고, N 는 전력 사용 총 인원이고, n 는 전력 사용자를 가리키는 식별번호이고, q_n^t 는 전력 사용자 n의 t시간대의 전력 요구량임.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전력 생산자 시스템이, 상기 다수의 전력 소비자 시스템으로부터의 전력 요구량 정보를 제공받아, 상기 전력 요구량이 전력 생산량보다 크면 다른 전력 생산자의 잉여 전력을 구매함을 특징으로 하는 스마트 그리드 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전력 소비자 시스템은,

전력 소비 시기의 이동이 가능한 다수의 슈터블 전력사용기기와,

전력 소비 시기의 이동이 불가능한 다수의 쉬터블 전력사용기기와,

상기 시간별 가격정보에 따라 전력의 가격이 미리 정해진 값 이상인 시기에는 상기 다수의 쉬터블 전력사용기기의 전력 사용을 중단하고 상기 전력의 가격이 미리 정해진 값 미만인 시기에는 상기 다수의 쉬터블 전력사용기기의 전력 사용 중단을 해제하는 스마트 미터;를 포함하는 것을 특징으로 하는 스마트 그리드 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전력 생산자 시스템은 전력 생산자와 전력 사용자 양측을 고려하여 가격을 산출하고,

루빈 스테인 바게닝을 사용하여 최적 시간대별 가격정보를 생성함을 특징으로 하는 스마트 그리드 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전력 생산자 시스템은 수학식 14에 따라 현재의 이득과 미래의 이득을 예측함을 특징으로 하는 스마트 그리드 시스템.

수학식 14

$$u_i^D = E[U_i^D] \leq (1-\delta) \cdot \left(\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^C + \delta^{T_0} \overline{R_i^D} + \sum_{n=T_0+1}^{T_0+T-1} \delta^n r_i^S + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C \right),$$

and

$$u_i^C = E[U_i^C] \geq (1-\delta) \cdot \left(\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^S + 0 + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C \right)$$

상기 수학식 14에서, u_i^D 는 반복게임 기반에서의 T_0 시간에서의 배반을 했을시의 예상되는 배반이득과 처벌을 고려한 이득값이고, D 는 배반을 의미하고, i 는 전력 제공자 i 를 가리키고, U_i^D 는 배반을 고려했을 시의 이득이고, $E[U_i^D]$ 는 배반을 고려했을 시의 예측한 이득이고, δ 는 할인율이고, T_0 는 배반을 한 시간이고, n 는 시간이고, δ^n 는 n 시간대의 할인율이고, r_i 는 이득값이고, C 는 협력을 의미하고, R 는 배반했을시의 배반 이득이고, T 는 배반을 했을 시 처벌을 하는 기간이고, S 는 협력이나 배반을 하지 않고 단독으로 수행할 경우의 이득이고, u_i^C 는 반복게임 기반에서의 협력을 지속했을 경우의 이득값이고, U_i^C 는 협력만을 고려했을 시의 이득값이고, $E[U_i^C]$ 는 협력만을 고려했을시의 예측 이득값이고, $E[U_i^D]$ 는 기대 이득 값으로, 이는 협력을

하지 않고 한 순간 협력을 포기했을 시의 이득인 $\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^C + \delta^{T_0} \overline{R_i^D} + \sum_{n=T_0+1}^{T_0+T-1} \delta^n r_i^S + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C$ 과 협력했을시의

이득인 $\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^S + 0 + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C$ 사이의 값을 가짐.

수학식 15

$$T > \max_i \frac{r_i^{T_0}}{r_i^C - R_i^D} + 1 \quad s.t., U_i^C > U_i^D$$

상기 수학식 15에서 T는 배반했을 때의 처벌기간임.

청구항 8

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스마트 그리드 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전력 생산자 시스템과 전력 소비자 시스템 사이의 양방향 통신을 통해 전력 생산자 시스템은 전력 요구량 정보를 제공받아 최적 시간대별 가격정보를 생성하여 전력 소비자 시스템의 스마트 미터로 제공하여, 스마트 미터가 전력 소비자 시스템에 포함된 스위치 전력 사용 기기의 전력 사용 시기를 변경함으로써 전력 생산자는 효율적으로 전력을 생성하고, 전력 소비자는 효율적으로 전력 소비할 수 있게 하는 스마트 그리드 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 스마트 그리드란 '발전(發電)-송전·배전-판매'의 단계로 이루어지던 기존의 단방향 전력망에 정보기술을 접목하여 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 '지능형 전력망'을 가리킨다. 이는 발전소와 송전·배전 시설과 전력 소비자를 정보통신망으로 연결하고 양방향으로 공유하는 정보를 통하여 전력 시스템 전체가 하나처럼 효율적으로 작동하는 것이 기본 개념이다.

[0003] 이러한 스마트 그리드를 활용하여 전력 공급자는 전력 사용 현황을 실시간으로 파악하여 공급량을 탄력적으로 조절할 수 있고, 전력 소비자는 전력 사용 현황을 실시간으로 파악함으로써 이에 맞게 요금이 비싼 시간대를 피하여 사용 시간과 사용량을 조절할 수 있으며, 태양광 발전이나 연료전지, 전기 자동차의 전기 에너지 등 가정에서 생산되는 전기를 판매할 수도 있게 된다.

[0004] 또한 자동 조정 시스템으로 운영되므로 고장 요인을 사전에 감지하여 정전을 최소화하고, 기존 전력 시스템과는 달리 다양한 전력 공급자와 소비자가 직접 연결되는 분산형 전원 체제로 전환되면서 풍량과 일조량 등에 따라 전력 생산이 불규칙한 한계를 지닌 신재생 에너지 활용도도 증대된다.

[0005] 상기한 바와 같이 신재생 에너지 활용도가 높아지면 화력 발전소를 대체하여 온실가스와 오염물질을 줄일 수 있게 되어 환경문제를 해소하는 데도 도움이 된다.

[0006] 이와 같이 스마트 그리드는 많은 장점을 지니고 있어 세계 여러 나라에서 차세대 전력망으로 구축하기 위한 사업으로 추진하고 있다. 한국도 2004년부터 산학연구 기관과 전문가들을 통하여 기초 기술을 개발해왔으며, 2008년 그린 에너지 산업 발전 전략의 과제로 스마트 그리드를 선정하고 법적·제도적 기반을 마련하기 위하여 지능형 전력망 구축 위원회를 신설하였다.

[0007] 2009년 6월에는 가전 제품과 네트워크를 통하여 전력 사용을 최적화하고 소비자에게 실시간 전기요금 정보를 제공하는 전력 관리 장치 '어드밴스드 스마트미터(Advanced Smart Meter)'와 전기 자동차 충전 인프라, 분산형 전원(배터리), 실시간 전기요금제, 전력망의 자기 치유 기능, 신재생 에너지 제어 기능, 직류(DC) 전원 공급, 전력 품질 선택 등을 필수 요소로 하는 '한국형 스마트 그리드 비전'을 발표하였다. 또 제주특별자치도를 스마트 그리드 실증 단지로 선정하고, 2010년부터 본격적으로 기술 실증에 착수한 뒤 2011년부터 시범도시를 중심으로 대규모 보급을 시작하며, 2020년까지 소비자측 지능화를, 2030년까지 전체 전력망 지능화를 완료할 계획이다.

[0008] 이와 같이 스마트 그리드의 구현을 위한 다양한 노력이 계속되어 오고 있으나 수요 조절을 위한 최적 가격 결정 기법은 여전히 구현되지 않고 있다. 이에 종래에는 수요 조절을 위한 최적 가격 결정 기법의 개발이 요구되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 특허공개 제1020110081445호
(특허문헌 0002) 대한민국 특허공개 제1020120049422호
(특허문헌 0003) 대한민국 특허공개 제1020130120657호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 전력 생산자 시스템과 전력 소비자 시스템 사이의 양방향 통신을 통해 전력 생산자 시스템은 전력 요구량 정보를 제공받아 최적 시간대별 가격정보를 생성하여 전력 소비자 시스템의 스마트 미터로 제공하여, 스마트 미터가 전력 소비자 시스템에 포함된 스위치 전력 사용기기의 전력 사용 시기를 변경함으로써 전력 생산자는 효율적으로 전력을 생성하고, 전력 소비자는 효율적으로 전력 소비할 수 있게 하는 스마트 그리드 시스템을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0011] 또한 본 발명의 다른 목적은 다수의 전력 생산자들의 협력을 유도하여 잉여 전력을 효율적으로 공유할 수 있게 하는 스마트 그리드 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따르는 스마트 그리드 시스템은, 미리 정해진 주기마다 전력 요구량을 산출하여 외부로 전송하고, 외부로부터 시간별 가격정보를 제공받아 그 시간별 가격정보에 따라 전력 사용을 조정하는 다수의 전력 소비자 시스템; 및 상기 다수의 전력 소비자 시스템으로부터 전력 요구량에 대한 정보를 제공받아 시간별 가격정보를 생성하고, 그 시간별 가격정보를 상기 다수의 전력 소비자 시스템으로 전송하는 전력 생산자 시스템;으로 구성됨을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0013] 상기한 본 발명은 전력 생산자와 전력 소비자 사이의 양방향 통신을 통해 전력 생산자는 전력 요구량 정보를 제공받아 시간대별 최적 가격정보를 생성하여 전력 소비자의 스마트 미터들로 제공하여, 스마트 미터들이 전력 소비자 시스템에 포함된 스위치 전력 사용기기의 전력사용 시기를 변경하여 전력 생산자는 효율적으로 전력을 생성하고, 전력 소비자는 효율적으로 전력 소비할 수 있게 하는 효과가 있다.

[0014] 또한 본 발명은 다수의 전력 생산자들의 협력을 유도하여 잉여 전력을 효율적으로 공유할 수 있게 하는 효과를 야기한다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스마트 그리드 시스템의 구성을 도시한 도면.

도 2 및 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스마트 그리드 시스템의 처리절차를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 본 발명은 전력 생산자와 전력 소비자 사이의 양방향 통신을 통해 전력 생산자는 전력 요구량 정보를 제공받아 시간대별 최적 가격정보를 생성하여 전력 소비자의 스마트 미터들로 제공하여, 스마트 미터들이 전력 소비자 시스템에 포함된 스위치블 전력사용기기의 전력사용시기를 변경하여 전력 생산자는 효율적으로 전력을 생성하고, 전력 소비자는 효율적으로 전력 소비할 수 있게 한다.
- [0017] 이러한 본 발명에 따르는 스마트 그리드 환경은 다수(m 개)의 전력 제공자가 존재하고, 각각의 전력 제공자는 다수(n 개)의 전력 사용자를 커버하는 것으로 가정한다. 이에, 총 전력 사용자는 $m \times n$ 개가 존재하며, 상기 다수의 전력 제공자들은 상호 전력 거래 및 교환이 가능하다고 가정한다.
- [0018] 이러한 환경에서 본 발명은 두 가지의 부분에서 기여한다.
- [0019] 먼저, 다수의 전력 제공자 각각은 다수의 전력 사용자의 수요를 가격으로 조절하며, 이는 후술될 Rubinstein Bargaining 기법에 기초한 수학적 1 내지 수학적 6에 따른다.
- [0020] 그리고 다수의 전력 제공자 각각은 두 분류로 나눌 수 있으며, 이는 i) 자신이 커버하는 전력 사용자들의 수요를 맞추지 못해 전력이 부족한 전력 제공자와, ii) 자신이 커버하는 전력 사용자들의 수요가 적어 잉여 전력이 있는 전력 제공자이다.
- [0021] 이러한 두 가지 전력 제공자들의 잉여 전력을 부족한 전력 제공자들에게 제공할 수 있는 협력을 유도하며, 이는 후술될 Repeated game에 기초한 수학적 7 및 수학적 8에 따른 협력 유도를 위한 처벌 기한 설정으로 이루어진다.
- [0022] 상기 수학적 7에서의 예상 이득값은 각 전력 제공자들이 계산하는 부분으로, 자신이 협력을 했을 시의 이득(자신이 언젠가 부족한 전력 제공자가 되었을 경우 잉여 전력을 다른 전력 제공자로부터 제공 받을 수 있음)이 협력을 이루지 않았을 시의 이득(처벌 기간동안 전력을 제공받지 못함)을 비교했을 시에 협력할 경우의 이득이 더 높다면 당연히 협력을 지속할 것이다.
- [0023] 이러한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스마트 그리드 시스템을 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스마트 그리드 시스템의 구성도이다.
- [0025] 상기 도 1을 참조하면, 상기 스마트 그리드 시스템은 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)과 제1 내지 제0전력 생산자 시스템(3001~3000)으로 구성된다.
- [0026] 상기 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)은 그 구성 및 동작이 동일하므로, 제1전력 소비자 시스템(1001)의 구성 및 동작만을 설명한다.
- [0027] 상기 제1전력 소비자 시스템(1001)은 스마트 미터(200)와 제1 내지 제N스위치블 전력사용기기(2021~202N)와 제1 내지 제M년스위치블 전력사용기기(2041~204M)로 구성된다.
- [0028] 상기 스마트 미터(200)는 제1 내지 제N스위치블 전력사용기기(2021~202N)와 제1 내지 제M년스위치블 전력사용기기(2041~204M)와 모두 접속하여, 제1 내지 제N스위치블 전력사용기기(2021~202N)와 제1 내지 제M년스위치블 전력사용기기(2041~204M)의 전력 사용량을 모두 계측함과 아울러 전력공급여부도 제어한다.
- [0029] 또한 상기 스마트 미터(200)는 상기 제1 내지 제N스위치블 전력사용기기(2021~202N)와 제1 내지 제M년스위치블 전력사용기기(2041~204M)의 전력 사용량에 대한 정보를 미리 설정된 전력 생산자 시스템으로 전송함과 아울러, 상기 전력 생산자 시스템으로부터 반환되는 시간별 가격정보를 토대로 상기 제1 내지 제N스위치블 전력사용기기(2021~202N)에 대한 전력 사용 여부를 조정한다.
- [0030] 상기 제1 내지 제N스위치블 전력사용기기(2021~202N)는 전력 사용을 다른 시간대로 전이 가능한 기기들로, 전력저장장치나 전기자동차 등이 될 수 있다.
- [0031] 상기 제1 내지 제M년스위치블 전력사용기기(2041~204M)는 전력 사용을 다른 시간대로 전이할 수 없는 기기들로 냉장고 등이 될 수 있다.

[0032] 상기 제1 내지 제0전력 생산자 시스템(3001~3000)은 전력을 생산하여 전력 소비자 시스템 또는 다른 전력 생산자 시스템으로 제공할 수 있다.

[0033] 또한 상기 제1 내지 제0전력 생산자 시스템(3001~3000)은 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)으로부터 전력 사용량에 대한 정보를 제공받아 시간별 가격정보를 생성하고, 이를 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)으로 제공한다.

[0034] 또한 상기 제1 내지 제0전력 생산자 시스템(3001~3000)은 전력 생산자 시스템(3001~3000)으로의 전력 요구량이 전력 생산량보다 크면 다른 전력 생산자의 잉여 전력을 구매하여 부족한 전력량을 충당한다.

[0035] <에너지 관리>

[0036] 상기한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스마트 그리드 시스템의 에너지 관리 방법에 따른 동작을 도 2를 참조하여 상세히 설명한다.

[0037] 상기 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)의 스마트 미터들은 자신과 연결된 상기 제1 내지 제N쉬터블 전력사용기기(2021~202N)와 제1 내지 제M년쉬터블 전력사용기기(2041~204M)의 전력 사용량에 대한 정보를 수집하여, 전력 요구량을 산출하고, 그 전력 요구량 정보를 미리 설정된 전력 생산자 시스템인 제1전력 생산자 시스템(3001)으로 전송한다(400단계). 상기 제1전력 생산자 시스템(3001)은 전력 생산자와 전력 사용자 양측을 고려한 가격을 산출한다(402단계).

[0038] 이러한 가격 산출과정은 다음과 같다.

[0039] 먼저 전력 생산자는 전력생산비용함수에 따라 전력 생산자측 가격을 책정한다.

[0040] 상기 전력 생산 비용 함수는 수학식 1에 따른다.

수학식 1

$$f^t(x^t) = \alpha^t (x^t)^2 + \beta^t x^t + \gamma^t$$

[0042] 상기 수학식 1에서 $f^t(x^t)$ 는 전력 생산 비용 함수이고, t 는 시간이고, x^t 는 t 시간에서의 전력 사용량이고, α^t , β^t , γ^t 는 전력 생산자 비용함수의 속성값이다.

[0043] 그리고 전력 사용자는 전력 사용자의 전력 효율을 위한 기여도를 고려한 사용자측 가격을 결정한다.

[0044] 상기 전력 효율을 위한 기여도는 수학식 2에 따라 산출된다.

수학식 2

$$\pi^r = 1 - \frac{Q_{avg} - \left(\sum_{n=1}^N q_n^t \right)}{\sum_{n=1}^N q_n^t} \quad \text{s.t. } \pi^r < 2.$$

[0046] 상기 수학식 2에서 π^r 는 전력 효율을 위한 기여도이고, Q_{avg} 는 평균 전력 사용량이고, N 는 전력 사용 총인

원 이고, n 는 전력 사용자를 가리키는 식별번호이고, q_n^t 는 전력 사용자 n 의 t 시간대의 전력 요구량이다.

[0047] 그리고 전력 사용자측 가격은 수학식 3에 따라 산출된다.

수학식 3

$$p_n^{t_d} = p^{t_0} \times \left\{ 1 + \left(\frac{x_n^t}{q_n^t} \right) \right\} \quad \text{s.t.} \quad p^{t_0} = \frac{\left(\sum_{n=1}^N q_n^t \right)^\psi}{\sum_{n=1}^N q_n^t}$$

[0048]

[0049] 상기 수학식 3에서 $p_n^{t_d}$ 는 사용자측이 제시한 가격이고, p^{t_0} 는 초기 판매가격이고, x_n^t 은 t 시간에서의 n 사용자의 전력 사용량이고, q_n^t 은 t 시간에서의 n 사용자의 전력 요구량 이고, ψ 은 비용함수 속성값으로 2를 사용한다.

[0050] 그리고 전력 생산자측 가격은 수학식 4에 따라 산출된다.

수학식 4

$$p^{t_s} = p^{t_0} \times \left\{ 1 + \left| \frac{\sum_{n=1}^N q_n^t - Q_{\text{avg}}}{\sum_{n=1}^N q_n^t} \right| \right\} \quad \text{s.t.} \quad Q_{\text{avg}} = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N q_n^t}{T}$$

[0051]

[0052] 상기 수학식 4에서 p^{t_s} 는 전력 생산자 측에서 제시하는 가격이고, T 는 하루시간을 의미하며 24로 정해질 수 있다.

[0053] 이와 같이 전력 생산자와 전력 사용자 양측을 고려한 가격이 산출되면, 상기 제1전력 생산자 시스템(3001)은 최적 시간대별 가격정보를 생성한다(404단계).

[0054] 상기 최적 시간대별 가격정보는 수학식 3 및 수학식 4에 따른 전력 사용자측 가격과 전력 생산자측 가격과 가중치 ω 을 기반으로 수학식 5에 따라 결정된다.

수학식 5

$$p^t = \omega \times p^{t_s} + (1 - \omega) \times p^{t_d}$$

[0055]

[0056] 상기 수학식 5에서, p^t 는 최종적인 시간별 가격이고, 가중치 ω 은 수학식 2의 기여도를 기반으로 Rubinstein Bargaining Model에 따르는 수학식 6에 따라 도출된다.

수학식 6

$$(x_s^*, x_d^*) = \left(\frac{1 - \delta_d}{1 - \delta_s \delta_d}, \frac{\delta_d (1 - \delta_s)}{1 - \delta_s \delta_d} \right)$$

$$(x_s^*, x_d^*) \in \mathbf{R}^2 : x_s^* + x_d^* = 1,$$

$$\delta_d(r) = 1 - \frac{e^{\pi^r} - e^{-\pi^r}}{e^{\pi^r} + e^{-\pi^r}} \quad \text{s.t.} \quad \frac{d\delta_d(r)}{dr} < 0,$$

$$\delta_d(0) = 1, \text{ and } \delta_d(\infty) = 0,$$

$$x_s^* \geq 0, x_d^* \geq 0, \text{ and } 0 \leq \delta_d, \delta_s \leq 1.$$

$$\delta_s(r) = \frac{e^{\pi^r} - e^{-\pi^r}}{e^{\pi^r} + e^{-\pi^r}} \quad \text{s.t.} \quad \frac{d\delta_s(r)}{dr} > 0,$$

$$\delta_s(0) = 0, \text{ and } \delta_s(\infty) = 1,$$

[0057]

[0058]

상기 수학식 6에서 x_s^* 는 가중치율 ω 이고, x_d^* 는 가중치율 $1 - \omega$ 가 된다. 그리고 $\delta_d(r)$ 와 $\delta_s(r)$ 는 각각 R 시간대의 기여도를 나타내는 수학식 2의 π^r 에 기반한 전력 사용자와 제공자의 할인율을 의미한다.

[0059]

상기한 바와 같이 최적 시간대별 가격정보가 생성되면, 상기 제1전력 생산자시스템(3001)은 상기 최적 시간대별 가격정보를 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)의 스마트 미터들로 전송한다(406단계).

[0060]

상기 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)의 스마트 미터들은 상기 시간대별 가격정보를 기준으로 사용 가격을 최소화 하는 전력 사용 스케줄링을 이행함과 아울러, 그 전력 사용 스케줄에 따라 상기 제1 내지 제N쉬터블 전력사용기기(2021~202N)와 제1 내지 제M쉬터블 전력사용기기(2041~204M)의 전력공급을 제어한다.

[0061]

좀 더 설명하면, 스마트 미터들은 쉬터블 전력 사용기기의 전력공급시기를 조정하여 전력의 가격이 미리 정해진 값보다 낮을 경우에만 쉬터블 전력 사용기기에 전력이 공급되게 할 수 있다.

[0062]

<전력 구매>

[0063]

상기한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스마트 그리드 시스템의 전력 생산자 시스템은 잉여 전력을 구매하여 전력 생산의 효율을 높이며, 이를 도 3을 참조하여 설명한다.

[0064]

제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)은 미리 정해진 주기 등의 이벤트 발생시마다 전력 사용량 정보를 미리 설정된 제1전력 생산자 시스템(3001)으로 전송한다(500단계). 상기 제1전력 생산자 시스템(3001)은 미리 정해진 주기마다 제1 내지 제L전력 소비자 시스템(1001~100L)으로부터의 전력 사용량 정보를 제공받아 전력 요구량이 전력 생산량보다 큰지를 체크한다(502,504단계). 상기 전력 요구량이 전력 생산량보다 크면, 다른 전력 생산자 시스템, 예를들어 제2전력 생산자 시스템(3002)으로 전력 판매를 요청하고, 그 요청에 따라 제2전력 생산자 시스템(3002)이 제공하는 전력을 수용한다(506단계).

[0065] 또한 전력 소비자 시스템은 전력 소비자 시스템들 사이의 협력을 유도하기 위해 미리 정해진 주기마다 협력에 따른 이득을 예측하여 관리자 등에게 안내한다(508단계).

[0066] 이를 좀더 설명하면, 본 발명은 반복 게임을 기반으로 하여 모든 참여자가 협력을 이루게 하기 위해 수학식 7에 따른 이득 함수에 따라 자신의 현재 이득과 미래 이득에서의 이득 함수를 예측한다.

수학식 7

$$u_i^D = E[U_i^D] \leq (1-\delta) \cdot \left(\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^C + \delta^{T_0} \overline{R_i^D} + \sum_{n=T_0+1}^{T_0+T-1} \delta^n r_i^S + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C \right),$$

and

$$u_i^C = E[U_i^C] \geq (1-\delta) \cdot \left(\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^S + 0 + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C \right)$$

[0067]

[0068] 상기 수학식 7에서, u_i^D 는 반복게임 기반에서의 T_0 시간에서의 배반을 했을시의 예상되는 배반이득과 처벌을 고려한 이득값이고, D 는 배반을 의미하고, i 는 전력 제공자 i 를 가리키고, U_i^D 는 배반을 고려했을 시의 이득이고, $E[U_i^D]$ 는 배반을 고려했을 시의 예측한 이득이고, δ 는 할인율이고, T_0 는 배반을 한 시간이고, n 는 시간이고, δ^n 는 n 시간대의 할인율이고, r_i 는 이득값이고, C 는 협력을 의미하고, R_i 는 배반했을시의 배반 이득이고, T 는 배반을 했을 시 처벌을 하는 기간이고, S 는 협력이나 배반을 하지 않고 단독으로 수행할 경우의 이득이고, u_i^C 는 반복게임 기반에서의 협력을 지속했을 경우의 이득값이고, U_i^C 는 협력만을 고려했을 시의 이득값이고, $E[U_i^C]$ 는 협력만을 고려했을시의 예측 이득값이다.

[0069] 특히 상기 수학식 7에서 $E[U_i^D]$ 는 기대 이득 값으로, 이는 협력을 하지 않고 한 순간 협력을 포기했을 시의 이득인 $\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^C + \delta^{T_0} \overline{R_i^D} + \sum_{n=T_0+1}^{T_0+T-1} \delta^n r_i^S + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C$ 과 협력했을시의 이득인 $\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^S + 0 + \sum_{n=T_0+T}^{+\infty} \delta^n r_i^C$ 사이의 값을 가지도록 하며, 상기 배반했을 시의 처벌 기간 T 를 수학식 8에 의해 조절하여 이기적인 사용자가 협력할 수 있게 한다.

수학식 8

$$T > \max_i \frac{r_i^{T_0}}{r_i^C - R_i^D} + 1 \quad s.t., U_i^C > U_i^D$$

[0070]

[0071] 여기서, 상기 수학식 7의 $\sum_{n=0}^{T_0-1} \delta^n r_i^C + \delta^{T_0} \overline{R_i^D} + \sum_{n=T_0+1}^{T_0+T-1} \delta^n r_i^S$ 부분에는 수학식 8과 동일한 변수 T 가 존재한다. 이 T 는 협력하지 않았을 시의 처벌기간을 의미한다. 상기 수학식 8에 의해 결정되는 T 를 통해 모든 사용자 각각에 대한 평균이득은 배반하였을 때보다 협력하였을 때에 높아지게 된다. 이에 사용자는 배반이 아닌

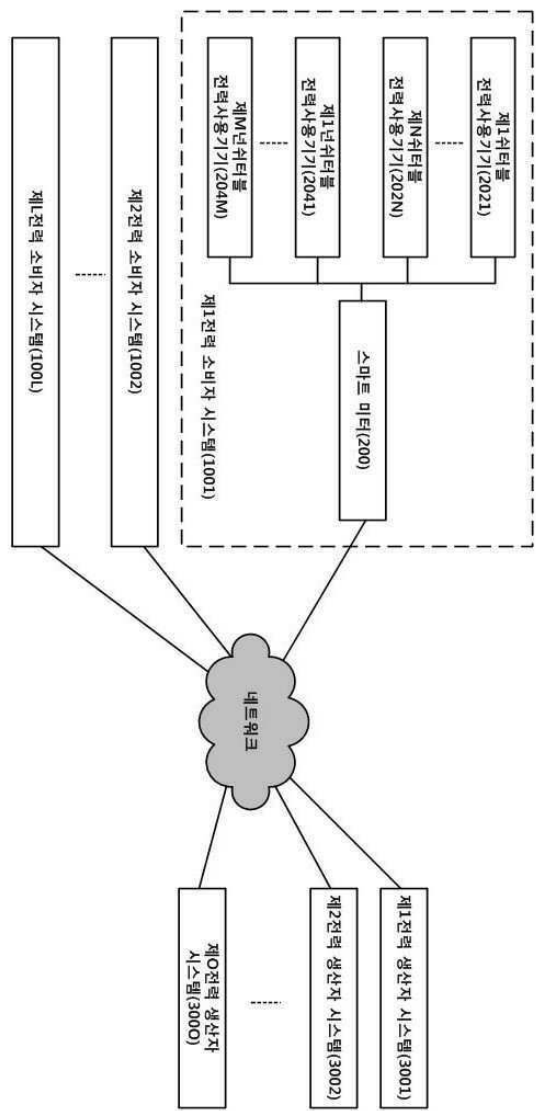
협력을 계속하여 유지하게 된다.

부호의 설명

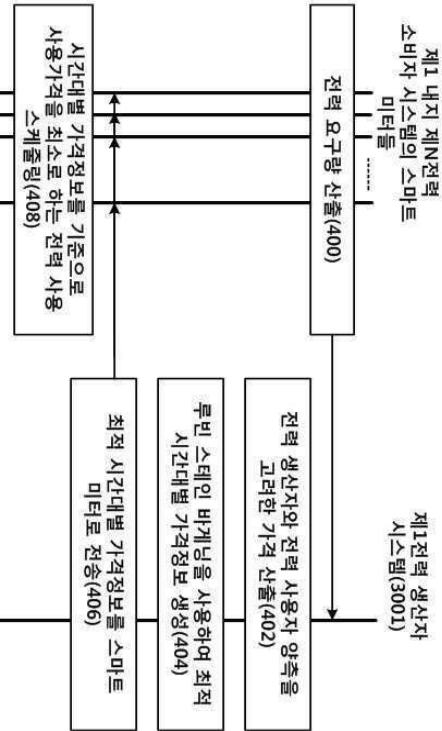
- 1001~100L : 제1 내지 제L전력 소비자 시스템
- 200 : 스마트 미터
- 2021~202N : 제1 내지 제N쉬터블 전력사용기기
- 2041~204M : 제1 내지 제M년쉬터블 전력사용기기
- 3001~3000 : 제1 내지 제0전력 생산자 시스템

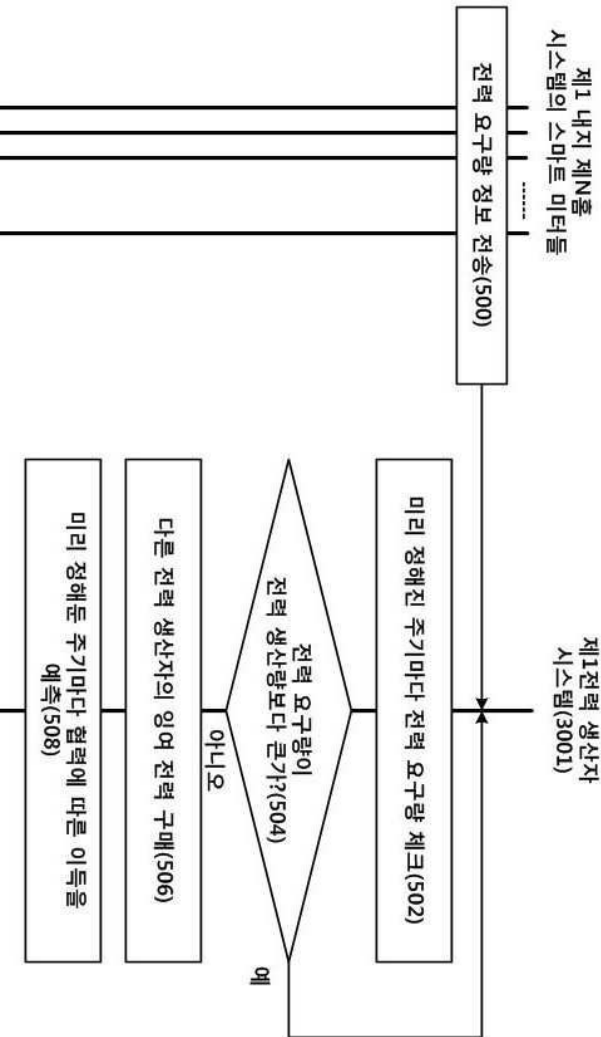
도면

도면1



도면2





도면3