

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2025-0025805
(43) 공개일자 2025년02월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/26 (2024.01) G06F 17/18 (2006.01)
G06N 20/20 (2019.01) G06N 3/047 (2023.01)
G06Q 10/04 (2023.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/26 (2024.01)
G01W 1/10 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0106617

(22) 출원일자 2023년08월16일

심사청구일자 2023년08월16일

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

김종호

울산광역시 남구 봉월로8번길 20, 202호 (신정동)

버광드영

울산광역시 남구 대학로55번길 29, 609호 (무거동, 영남행복맨션)

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 9 항

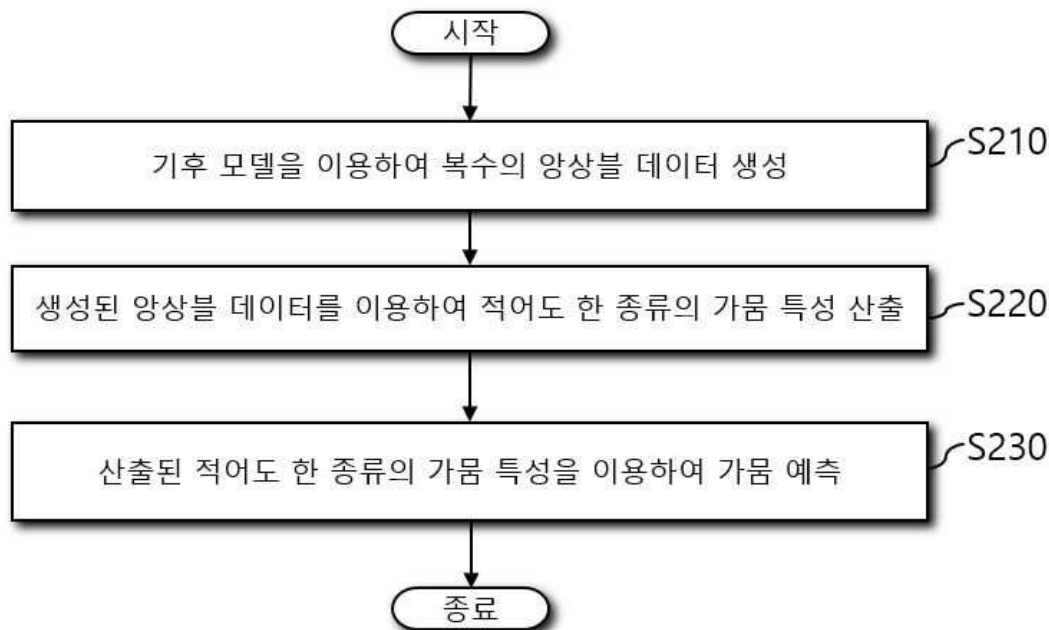
(54) 발명의 명칭 가뭄 예측 방법 및 그 시스템

(57) 요약

본 발명은 가뭄 예측 방법 및 그 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 실시예에 따르면 가뭄 예측 방법에 있어서, 앙상블 데이터 생성부가 기 지정된 기간의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델을 이용하여 복수의 앙상블 데이터를 생성하는 단계; 가뭄 특성 산출부가 상기 생성된 앙상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 산출하는 단계; 및 예측부가 상기 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 가뭄을 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 장기 내적 변동성을 고려하여 보다 정확하게 미래 가뭄 특성을 산출하여 가뭄을 예측할 수 있다.

또한, 기후의 장기 내적 변동성을 충분히 반영할 수 있는 기법 또는 모형을 사용하여 앙상블 데이터를 생성하며 결정적(Deterministic)인 1 개의 값으로 가뭄 특성이 확정적으로 제공되지 않고, 앙상블 형태인 기 지정된 개수 (예를 들면, 100개)의 값을 통해 추계학적(Stochastic)으로 제공하여 가뭄 특성의 불확실성 크기를 정량화할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06F 17/18 (2013.01)

G06N 20/20 (2021.08)

G06N 3/047 (2023.01)

G06Q 10/04 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711186324

과제번호 2022R1A2C2008584

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)

연구과제명 연구 패러다임의 전환: 외삽능력을 탑재한 4세대 Physics-informed 머신러닝-대체모

형 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 울산대학교

연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

양상블 데이터 생성부가 기 지정된 기간의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델을 이용하여 복수의 양상블 데이터를 생성하는 단계;

가뭄 특성 산출부가 상기 생성된 양상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을 기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 산출하는 단계; 및

예측부가 상기 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 가뭄을 예측하는 단계를 포함하는 가뭄 예측 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 양상블 데이터를 생성하는 단계는,

적어도 하나의 세계 기후 모델로부터 복수의 강우 통계를 산출하는 단계;

모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 산출하여 상기 세계 기후 모델로부터 적어도 하나의 미래 기후 속성을 추출하는 단계;

상기 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수에 베이지안 가중 평균을 적용하고 감마 분포 확률을 산출하는 단계; 및

상기 베이지안 가중 평균이 적용된 모양 매개 변수, 척도 매개 변수 및 감마분포확률로부터 누적 강수량 확률을 산출하고, 상기 산출된 누적 강수량 확률을 이용하여 강수량에 대한 양상블 데이터를 생성하는 단계를 포함하고,

상기 미래 기후 속성은 장기 내적 변동성을 의미하는 관측값인 가뭄 예측 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 감마 분포 확률을 산출하는 단계는,

하기의 수학식에 산출된 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 적용하여 감마 분포를 산출하는 가뭄 예측 방법:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

여기서, α 는 0보다 큰 모양 매개 변수이고, β 는 0보다 큰 척도 매개 변수이며, $\gamma(\alpha)$ 는 감마 함수이고, x 는 0보다 큰 강수량이다.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 양상블 데이터를 생성하는 단계는,

하기의 수학식에 산출된 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 적용하여 누적 강수량 확률을 산출하는 가뭄 예측 방법:

$$G(x) = \int_0^x \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx$$

여기서, $\hat{\alpha}$ 는 모양 매개 변수의 추정치이고, $\hat{\beta}$ 는 척도 매개 변수의 추정치이며, x는 강수량이고, $\gamma(\hat{\alpha})$ 는 감마 함수이다.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 앙상블 데이터를 생성하는 단계는,

누적 강수량 확률 분포(H(x))를 산출하고 하기의 수학식에 상기 산출된 누적 강수량 확률 분포(H(x))를 적용하여 앙상블 데이터를 생성하는 가뭄 예측 방법:

$$Z = SPI$$

$$= \begin{cases} -\left(w - \frac{c_0 + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3}\right) & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ +\left(w - \frac{c_0 + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3}\right) & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

$$w = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

여기서, c0 내지 c2 및 d1 내지 d3은 기 설정된 값을 갖는 상수이다.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 가뭄 특성을 산출하는 단계는,

복수의 가뭄 이벤트, 가뭄 기간, 가뭄 심각도 및 가뭄 간격 중 적어도 한 종류를 포함하는 가뭄 특성을 산출하는 가뭄 예측 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 가뭄을 예측하는 단계는,

상기 가뭄 특성의 평균 및 표준 편차를 하기의 수학식을 통해 산출하여 예측하는 가뭄 예측 방법:

$$DC_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{ens=1}^{100} DC_{ens}$$

$$DC_{std} = \sqrt{\frac{\sum_{ens=1}^{100} (DC_{ens} - DC_{mean})^2}{N - 1}}$$

여기서, DC_{mean} 은 가뭄 특성의 평균이고, DC_{std} 는 가뭄 특성의 표준 편차이며, DC_{ens} 는 앙상블 데이터의 인덱스 넘버이고, N 은 앙상블 데이터의 개수이다.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 가뭄을 예측하는 단계는,

상기 가뭄 특성의 평균 또는 표준 편차의 변화 요인을 하기의 수학식을 통해 산출하는 가뭄 예측 방법:

$$FOC_{mean} = \frac{FUT_{DC_{mean}}}{CTL_{DC_{mean}}}$$

$$FOC_{std} = \frac{FUT_{DC_{std}}}{CTL_{DC_{std}}}$$

여기서, FOC_{mean} 는 복수의 가뭄 특성의 장기 내적 변동성을 반영한 평균적인 변화 요인이고, $FUT_{DC_{mean}}$ 는 미래의 가뭄 특성의 평균이며, $CTL_{DC_{mean}}$ 는 대조기간의 가뭄 특성의 평균이고, FOC_{std} 는 복수의 가뭄 특성의 장기 내적 변동성을 나타내는 표준 편차의 변화 요인이며, $FUT_{DC_{std}}$ 는 미래의 가뭄 특성의 표준 편차이고, $CTL_{DC_{std}}$ 는 대조기간의 가뭄 특성의 표준 편차이다.

청구항 9

기 지정된 기간의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델을 이용하여 복수의 앙상블 데이터를 생성하는 앙상블 데이터 생성부;

상기 생성된 앙상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을 기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 산출하는 가뭄 특성 산출부; 및

상기 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 가뭄을 예측하는 예측부를 포함하는 가뭄 예측 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가뭄 예측 방법 및 그 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게 설명하면, 장기 내적 변동성을 기초로 미래 가뭄 특성을 평가하고 가뭄을 예측하는 가뭄 예측 방법 및 그 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 가뭄이란 강수량이 평년보다 적게 발생해서 물 부족이 장기화되고 이로 인한피해가 발생하는 재해이고 장기간동안 광범위한 범위에서 홍수보다 현저히 느리게 진행되므로 가뭄의 발생정도를 시공간을 고려해서 예측하는 기술의 중요성이 증가한다.

[0003] 미래의 기후를 예측하는 기술 중 기후 전망(Climate outlook)은 미래 기후 정보를 평년이나 특정 기간의 평균값으로 산정한 뒤 평균을 기준으로 발생 확률을 산출하는 것이다.

[0004] 특히, 가뭄의 경우 미래 기간에 대한 가뭄의 기간, 심도의 증감 및 공간적인 가뭄의 특성에 의한 기후 모형의

특성에 따라 예측 결과가 상이하게 나타날 수 있다.

[0005] 따라서, 장기 내적 변동성을 고려하여 가뭄을 예측하는 기술이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이와 같이 본 발명에 따르면, 장기 내적 변동성을 기초로 미래 가뭄 특성을 평가하고 가뭄을 예측하는 가뭄 예측 방법 및 그 시스템을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 가뭄 예측 방법에 있어서, 앙상블 데이터 생성부가 기 지정된 기간의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델을 이용하여 복수의 앙상블 데이터를 생성하는 단계; 가뭄 특성 산출부가 상기 생성된 앙상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을 기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 산출하는 단계; 및 예측부가 상기 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 가뭄을 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 상기 복수의 앙상블 데이터를 생성하는 단계는, 적어도 하나의 세계 기후 모델로부터 복수의 강우 통계를 산출하는 단계; 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 산출하여 상기 세계 기후 모델로부터 적어도 하나의 미래 기후 속성을 추출하는 단계; 상기 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수에 베이지안 가중 평균을 적용하고 감마 분포 확률을 산출하는 단계; 및 상기 베이지안 가중 평균이 적용된 모양 매개 변수, 척도 매개 변수 및 감마분포확률로부터 누적 강수량 확률을 산출하고, 상기 산출된 누적 강수량 확률을 이용하여 강수량에 대한 앙상블 데이터를 생성하는 단계를 포함하고, 상기 미래 기후 속성은 장기 내적 변동성을 의미하는 관측값일 수 있다.

[0009] 상기 감마 분포 확률을 산출하는 단계는, 하기의 수학식에 산출된 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 적용하여 감마 분포를 산출할 수 있다:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

[0010]

[0011] 여기서, α 는 0보다 큰 모양 매개 변수이고, β 는 0보다 큰 척도 매개 변수이며, $\gamma(\alpha)$ 는 감마 함수이고, x 는 0보다 큰 강수량이다.

[0012] 상기 앙상블 데이터를 생성하는 단계는, 하기의 수학식에 산출된 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 적용하여 누적 강수량 확률을 산출할 수 있다:

$$G(x) = \int_0^x \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx$$

[0013]

[0014] 여기서, $\hat{\alpha}$ 는 모양 매개 변수의 추정치이고, $\hat{\beta}$ 는 척도 매개 변수의 추정치이며, x 는 강수량이고, $\gamma(\hat{\alpha})$ 는 감마 함수이다.

[0015] 상기 앙상블 데이터를 생성하는 단계는, 누적 강수량 확률 분포($H(x)$)를 산출하고 하기의 수학식에 상기 산출된 누적 강수량 확률 분포($H(x)$)를 적용하여 앙상블 데이터를 생성할 수 있다:

$$Z = SPI$$

$$= \begin{cases} -\left(w - \frac{c_0 + c_1w + c_2w^2}{1 + d_1w + d_2w^2 + d_3w^3}\right) & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ +\left(w - \frac{c_0 + c_1w + c_2w^2}{1 + d_1w + d_2w^2 + d_3w^3}\right) & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

$$w = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

[0016]

[0017] 여기서, c_0 내지 c_2 및 d_1 내지 d_3 은 기 설정된 값을 갖는 상수이다.

[0018] 상기 가뭄 특성을 산출하는 단계는, 복수의 가뭄 이벤트, 가뭄 기간, 가뭄 심각도 및 가뭄 간격 중 적어도 한 종류를 포함할 수 있다.

[0019] 상기 가뭄을 예측하는 단계는, 상기 가뭄 특성의 평균 및 표준 편차를 하기의 수학적식을 통해 산출하여 예측할 수 있다:

$$DC_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{ens=1}^{100} DC_{ens}$$

$$DC_{std} = \sqrt{\frac{\sum_{ens=1}^{100} (DC_{ens} - DC_{mean})^2}{N - 1}}$$

[0020]

[0021] 여기서, DC_{mean} 은 가뭄 특성의 평균이고, DC_{std} 는 가뭄 특성의 표준 편차이며, DC_{ens} 는 앙상블 데이터의 인덱스 넘버이고, N 은 앙상블 데이터의 개수이다.

[0022] 상기 가뭄을 예측하는 단계는, 상기 가뭄 특성의 평균 또는 표준 편차의 변화 요인을 하기의 수학적식을 통해 산출할 수 있다:

$$FOC_{mean} = \frac{FUT_{DC_{mean}}}{CTL_{DC_{mean}}}$$

$$FOC_{std} = \frac{FUT_{DC_{std}}}{CTL_{DC_{std}}}$$

[0023]

[0024] 여기서, FOC_{mean} 는 복수의 가뭄 특성의 장기 내적 변동성을 반영한 평균적인 변화 요인이고, $FUT_{DC_{mean}}$ 은 미래의 가뭄 특성의 평균이며, $CTL_{DC_{mean}}$ 는 대조기간의 가뭄 특성의 평균이고, FOC_{std} 는 표준 편차의 변화 요

인이며, FUT_{DCstd} 는 미래의 가뭄 특성의 표준 편차이고, CTL_{DCstd} 는 복수의 가뭄 특성의 장기 내적 변동성을 나타내는 대조기간의 가뭄 특성의 표준 편차이다.

[0025] 본 발명의 다른 실시 예에 따르면, 가뭄 예측 시스템에 있어서, 기 지정된 기간의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델을 이용하여 복수의 앙상블 데이터를 생성하는 앙상블 데이터 생성부; 상기 생성된 앙상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을 기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 산출하는 가뭄 특성 산출부; 및 상기 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 가뭄을 예측하는 예측부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0026] 이와 같이 본 발명에 따르면, 장기 내적 변동성을 고려하여 보다 정확하게 미래 가뭄 특성을 산출하여 가뭄을 예측할 수 있다.

[0027] 또한, 기후의 장기 내적 변동성을 충분히 반영할 수 있는 기법 또는 모델을 사용하여 앙상블 데이터를 생성하며 결정적(Deterministic)인 1 개의 값으로 가뭄 특성이 확정적으로 제공되지 않고, 앙상블 형태인 기 지정된 개수 (예를 들면, 100개)의 값을 통해 추계학적(Stochastic)으로 제공하여 가뭄 특성의 불확실성 크기를 정량화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가뭄 예측 시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 가뭄 예측 방법의 순서도이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 앙상블 데이터를 생성하는 방법을 구체적으로 도시하는 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 Run 이론을 사용하여 가뭄 특성을 산출하는 일 예를 구체적으로 도시하는 도면이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따라 가뭄을 예측하는 일 예를 구체적으로 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0030] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0031] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가뭄 예측 시스템의 구성도이다.

[0033] 도 1에 도시된 바와 같이, 가뭄 예측 시스템(100)은 앙상블 데이터 생성부(110), 가뭄 특성 산출부(120) 및 예측부(130)를 포함할 수 있다.

[0034] 먼저, 앙상블 데이터 생성부(110)는 기 지정된 기간(예를 들어, 1981년 내지 2010년)의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델(예를 들어, AWE-GEN)을 이용하여 복수의 앙상블 데이터를 생성할 수 있다. 이때, 기후 모델은 시공간 축소 기법이 적용된 AWE-GEN 모델이며 앙상블 데이터는 100개의 표준강수지수(Standardized precipitation index, SPI)를 포함할 수 있다.

[0035] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 복수의 기간(예를 들어, 단기(3개월), 중기(6개월 및 9개월) 및 장기(12개월) 등)의 서로 상이한 시간 척도에서 앙상블 데이터를 산출하여 생성할 수 있다.

[0036] 구체적으로, 앙상블 데이터 생성부(110)에서 앙상블 데이터를 생성하는 방법에 대해서는 도 2 및 도 3을 참조하여 후술한다.

- [0037] 다음으로, 가뭄 특성 산출부(120)는 생성된 앙상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을 기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성(Drought characteristics, DC)을 산출할 수 있다. 여기서, 기 지정된 방법은 Run 이론일 수 있고, 가뭄 특성은 N개의 가뭄 이벤트(Drought event, DE), 가뭄 기간(Drought duration, DD), 가뭄 심각도(Drought severity, DS), 가뭄 간격(Drought interval, DI) 중 적어도 한 종류를 포함하며 N은 앙상블 데이터의 개수이다.
- [0038] 다음으로, 예측부(130)는 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 기 정해진 방법(예를 들어, 거리 매칭 기법(Distance matching technique) 등)을 적용하여 가뭄 지역의 공간적 분포를 생성할 수 있다.
- [0039] 구체적으로, 예측부(130)는 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성의 평균, 표준 편차 및 평균과 표준 편차의 변화를 예측하고, 거리 매칭 기법을 적용하여 가뭄 지역의 공간적 분포를 생성할 수 있다.
- [0040] 이후에서는 도 2 내지 도 5를 참조하여 가뭄 예측 시스템(100)을 이용한 가뭄 예측 방법에 대해 보다 상세하게 설명한다.
- [0041] 후술하는 본 발명의 실시예에서는 가뭄 예측 시스템(100)은 1981 내지 2010년을 대조기간(Control period, CTL), 2016 내지 2040년을 전기(Early period, ERY), 2041 내지 2070년을 중기(Mid-term period, MID) 및 2071 내지 2100년을 말기(End-term period, END)로 설정하고, 100개의 앙상블 데이터를 생성하며 앙상블 데이터에 따른 가뭄 특성의 변화를 예측하는 것으로 구체적인 예를 들어 설명한다. 그러나, 본 발명이 반드시 이로 제한되는 것은 아니다.
- [0042] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 가뭄 예측 방법의 순서도이다.
- [0043] 먼저, 앙상블 데이터 생성부(110)는 기 지정된 대조기간의 기후에 대한 데이터를 기초로 기 지정된 기후 모델(예를 들어, AWE-GEN)을 이용하여 100개의 앙상블 데이터를 생성할 수 있다(S210). 이때, 기후 모델은 시공간 축소 기법이 적용된 AWE-GEN 모델이며 앙상블 데이터는 표준강수지수(Standardized precipitation index, SPI)일 수 있다.
- [0044] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 복수의 기간(예를 들어, 단기(3개월), 중기(6개월 및 9개월) 및 장기(12개월) 등)의 서로 상이한 시간 척도에서 앙상블 데이터를 산출하여 생성할 수 있다.
- [0045] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 앙상블 데이터를 생성하는 방법을 구체적으로 도시하는 흐름도이다.
- [0046] 도 3을 참조하면, 앙상블 데이터 생성부(110)는 적어도 하나의 세계 기후 모델(Global climate models, GCM)로부터 복수(예를 들어, 100개)의 강우 통계를 산출할 수 있다(S211).
- [0047] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 기후 모델에 필요한 복수의 모양 매개 변수(Shape parameter) 및 척도 매개 변수(Scale parameter)를 산출하여 세계 기후 모델로부터 적어도 하나의 미래 기후 속성을 추출할 수 있다(S212). 여기서, 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수는 앙상블 데이터 생성과 연관된 변수이고, 미래 기후 속성은 장기 내적 변동성을 의미하는 관측값일 수 있다.
- [0048] 이때, 앙상블 데이터 생성부(110)는 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 하기의 [수학식 1]을 이용하여 산출할 수 있다.

수학식 1

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

[0049]

[0050] 여기서, $\hat{\alpha}$ 는 모양 매개 변수의 추정치이고, $\hat{\beta}$ 는 척도 매개 변수의 추정치이며, $\bar{x}$ 는 평균 강수량이고, n은 강수량 관측자료(예를 들면, 누적 강수량 등)의 수이다.

[0051] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수에 베이지안 가중 평균(Bayesian weighted averaging, BWA)을 적용하고 감마 분포 확률을 산출할 수 있다(S213).

[0052] 이때, 앙상블 데이터 생성부(110)는 산출된 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수를 하기의 [수학식 2]에 적용하여 감마 분포 확률(g(x))을 산출할 수 있다.

수학식 2

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

[0053]

[0054] 여기서, α 는 0보다 큰 모양 매개 변수이고, β 는 0보다 큰 척도 매개 변수이며, $\gamma(\alpha)$ 는 감마 함수이고, x 는 0보다 큰 강수량이다.

[0055] 이로 인해, 앙상블 데이터 생성부(110)는 적어도 하나의 세계 기후 모델의 통계적 속성을 산출하여 장기 내적 변동성을 정량화할 수 있다.

[0056] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 베이지안 가중 평균이 적용된 모양 매개 변수 및 척도 매개 변수와 감마 분포 확률로부터 누적 강수량 확률을 산출하고, 산출된 누적 강수량 확률을 이용하여 강수량에 대한 앙상블 데이터를 생성할 수 있다(S214).

[0057] 이때, 앙상블 데이터 생성부(110)는 산출된 척도 매개 변수, 척도 매개 변수 추정치, 모양 매개 변수, 모양 매개 변수 추정치 및 감마 함수를 하기의 [수학식 3]에 적용하여 누적 강수량 확률(G(x))을 산출할 수 있다.

수학식 3

$$G(x) = \int_0^x \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx$$

[0058]

[0059] 여기서, $\hat{\alpha}$ 는 모양 매개 변수의 추정치이고, $\hat{\beta}$ 는 척도 매개 변수의 추정치이며, x는 강수량이고, $\gamma(\hat{\alpha})$ 는 감마 함수이다.

[0060] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 강수량이 0인 경우, $q=m/n$ 을 이용하여 누적 강수량 확률 분포(H(x))를 산출할 수 있다. 여기서, n은 강수량을 관측한 전체 기간이고, m은 강수량이 0인 기간이며, q는 무강우 비율이다.

[0061] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 강수량이 0보다 큰 경우, 누적 강수량 확률을 하기의 [수학식 4]에 적용하여 누적 강수량 확률 분포(H(x))를 산출할 수 있다.

수학식 4

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

[0062]

[0063] 또한, 앙상블 데이터 생성부(110)는 산출된 누적 강수량 확률 분포($H(x)$)를 하기의 [수학식 5]에 적용하여 앙상블 데이터를 산출하여 생성할 수 있다.

수학식 5

$$Z = SPI$$

$$= \begin{cases} -\left(w - \frac{c_0 + c_1w + c_2w^2}{1 + d_1w + d_2w^2 + d_3w^3}\right) & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ +\left(w - \frac{c_0 + c_1w + c_2w^2}{1 + d_1w + d_2w^2 + d_3w^3}\right) & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

$$w = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} & 0 < H(x) \leq 0.5 \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)} & 0.5 < H(x) \leq 1.0 \end{cases}$$

[0064]

[0065] 여기서, c_0 내지 c_2 및 d_1 내지 d_3 은 기 설정된 값을 갖는 상수로, 본 발명의 다른 실시예에서는 c_0 는 2.515517, c_1 은 0.802853, c_2 는 0.010328, d_1 은 1.432788, d_2 는 0.189269 및 d_3 은 0.001308이다.

[0066] 다시 말해, 앙상블 데이터 생성부(110)는 기후의 장기 내적 변동성을 충분히 반영할 수 있는 기법 또는 모형을 사용하여 앙상블 데이터를 생성하며 결정적(Deterministic)인 1 개의 값으로 가뭄 특성이 확정적으로 제공되지 않고, 앙상블 형태인 기 지정된 개수(예를 들면, 100개)의 값을 통해 통계학적(Stochastic)으로 제공하여 가뭄 특성의 불확실성 크기를 정량화할 수 있다.

[0067] 다음으로, 가뭄 특성 산출부(120)는 생성된 앙상블 데이터를 이용하여 기 지정된 방법을 기초로 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 산출할 수 있다(S220). 여기서, 기 지정된 방법은 Run 이론일 수 있고, 가뭄 특성은 N개의 가뭄 이벤트(Drought event, DE), 가뭄 기간(Drought duration, DD), 가뭄 심각도(Drought severity, DS), 가뭄 간격(Drought interval, DI) 중 적어도 한 종류를 포함하며 N은 앙상블 데이터의 개수이다.

[0068] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 Run 이론을 사용하여 가뭄 특성을 산출하는 일 예를 구체적으로 도시하는 도면이다.

[0069] 도 4에 도시된 바와 같이, 가뭄 특성 산출부(120)는 생성된 앙상블 데이터에 Run 이론을 적용하여 가뭄 이벤트(DE_i), 가뭄 기간(DD_i), 가뭄 심각도(DS_i) 및 가뭄 간격(DI_i)을 산출할 수 있다. 이때, i 는 복수의 앙상블 데이터의 인덱스 번호이고, 파란 막대는 비가뭄 기간(Non-drought periods), 빨간 막대는 가뭄 기간(Drought periods)를 나타낸다.

[0070] 또한, 가뭄 특성 산출부(120)는 기 설정된 앙상블 데이터 값(예를 들면, SPI=-1)을 임계값(점선)으로 설정하고 이를 기준으로 비가뭄 기간과 가뭄 기간을 구분할 수 있다.

[0071] 또한, 가뭄 특성 산출부(120)는 설정된 임계값 미만의 앙상블 데이터 값의 영역을 이용하여 가뭄 기간과 가뭄의 심각도를 산출하고, 두 개의 연속적인 가뭄 기간 사이의 간격을 가뭄 간격으로 산출할 수 있다.

[0072] 필요에 따라, 가뭄 특성 산출부(120)는 복수의 앙상블 데이터를 이용하여 최대 가뭄 이벤트 수(Maximum number

of drought events, DE_{max}), 최대 가뭄 기간(Maximum of drought duration, DD_{max}) 및 가뭄 심각도의 절대 최대값(Maximum of absolute drought severity, $|DS|_{max}$) 중 적어도 하나를 산출할 수 있다.

[0073] 다음으로, 예측부(130)는 산출된 적어도 한 종류의 가뭄 특성을 이용하여 가뭄 특성의 변화를 예측하고, 가뭄을 예측할 수 있다(S230).

[0074] 구체적으로, 예측부(130)는 산출된 가뭄 특성(DC)의 평균(Mean), 표준 편차(Std) 및 평균과 표준 편차의 변화 요인(Factor of cooperation, FOC)를 산출하여 예측할 수 있다.

[0075] 이때, 예측부(130)는 하기의 [수학식 6]을 이용하여 가뭄 특성의 평균 및 가뭄 특성의 표준 편차를 산출할 수 있다.

수학식 6

$$DC_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{ens=1}^{100} DC_{ens}$$

$$DC_{std} = \sqrt{\frac{\sum_{ens=1}^{100} (DC_{ens} - DC_{mean})^2}{N - 1}}$$

[0076]

[0077] 여기서, DC_{mean} 은 가뭄 특성의 평균이고, DC_{std} 는 가뭄 특성의 표준 편차이며, DC_{ens} 는 앙상블 데이터의 인덱스 넘버이고, N은 앙상블 데이터의 개수이다.

[0078] 또한, 예측부(130)는 대조기간과 미래의 가뭄 특성의 평균과 표준 편차를 각각 하기의 [수학식 7]에 적용하여 평균과 표준 편차의 변화 요인을 산출할 수 있다. 이때, 미래는 전기, 중기 및 말기 중 하나일 수 있다.

수학식 7

$$FOC_{mean} = \frac{FUT_{DC_{mean}}}{CTL_{DC_{mean}}}$$

$$FOC_{std} = \frac{FUT_{DC_{std}}}{CTL_{DC_{std}}}$$

[0079]

[0080] 여기서, FOC_{mean} 는 복수의 가뭄 특성의 장기 내적 변동성을 반영한 평균적인 변화 요인이고, $FUT_{DC_{mean}}$ 는 미래의 가뭄 특성의 평균이며, $CTL_{DC_{mean}}$ 는 대조기간의 가뭄 특성의 평균이고, FOC_{std} 는 복수의 가뭄 특성의 장기 내적 변동성을 나타내는 표준 편차의 변화 요인이며, $FUT_{DC_{std}}$ 는 미래의 가뭄 특성의 표준 편차이고, $CTL_{DC_{std}}$ 는 대조기간의 가뭄 특성의 표준 편차이다.

[0081] 또한, 예측부(130)는 산출된 평균과 표준 편차의 변화 요인에 기 지정된 방법(예를 들면, 거리 매칭 기법)을 적용하여 대조기간 및 미래(전기, 중기 및 말기)에 대한 가뭄 지역의 공간적 분포를 획득하여 가뭄을 예측할 수

있다.

[0082] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따라 가뭄을 예측하는 일 예를 구체적으로 도시한 도면이다.

[0083] 도 5에 도시된 바와 같이, 예측부(130)는 가뭄 특성의 평균과 표준 편차의 변화를 이용하여 대조기간, 전기, 중기 및 말기에서 각 지역의 가뭄을 예측할 수 있다. 이때, 좌측의 각 원의 크기는 변화 정도로 최대 가뭄 기간(DD_{max})과 가뭄 심각도의 절대 최대값($|DS|_{max}$)의 표준 편차(DC_{std})의 변화가 큰 곳일수록 가뭄의 심각도가 증가함을 알 수 있다. 이때, 가뭄의 심각도는 진한 초록색일수록 심각도가 낮고, 진한 빨간색일수록 심각도가 높다.

[0084] 일 예로, 가뭄 특성의 평균이 대조기간은 1.13이고, 말기는 1.82로 증가한 경우, 장기 내적 변동성은 증가하여 남한의 중남부 지역에서 가뭄의 기간과 가뭄 심각도가 증가한 가뭄이 등장할 것으로 예측할 수 있다.

[0085] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면, 장기 내적 변동성을 고려하여 보다 정확하게 미래 가뭄 특성을 산출하여 가뭄을 예측할 수 있다.

[0086] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0087] 100: 가뭄 예측 시스템

110: 앙상블 데이터 생성부

120: 가뭄 특성 산출부

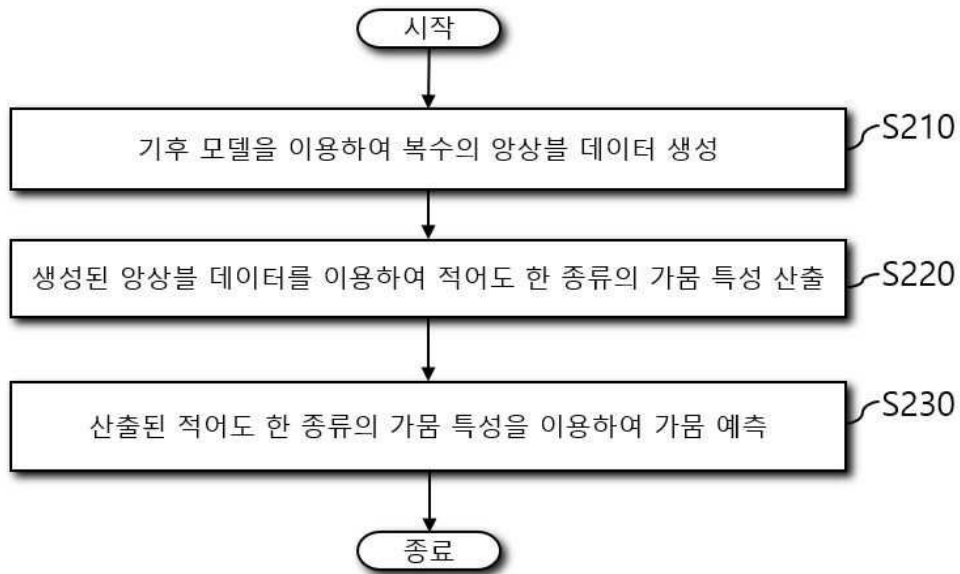
130: 예측부

도면

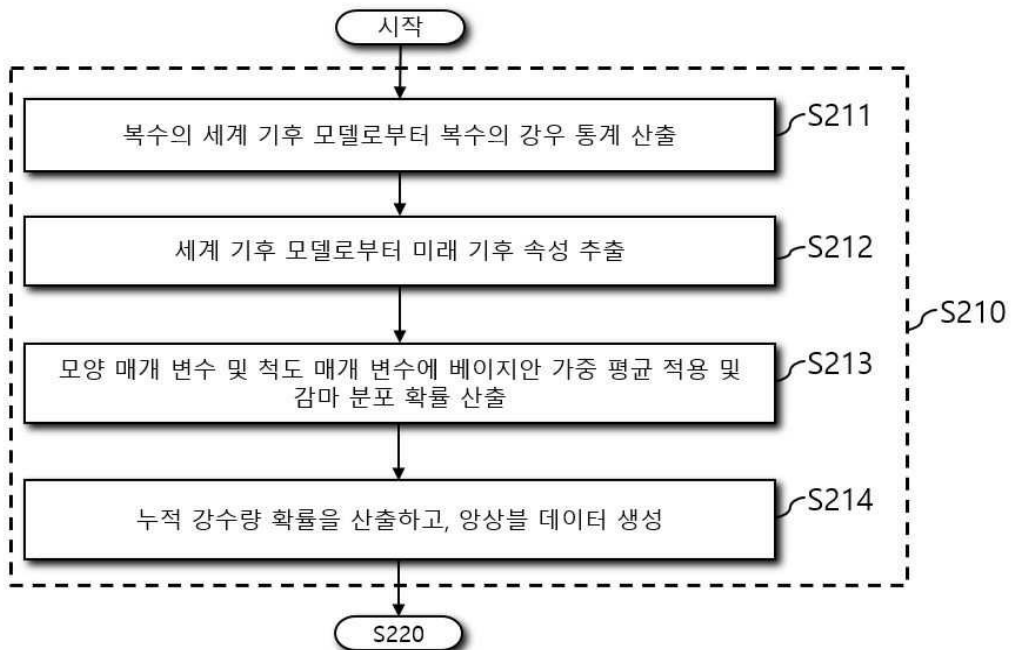
도면1



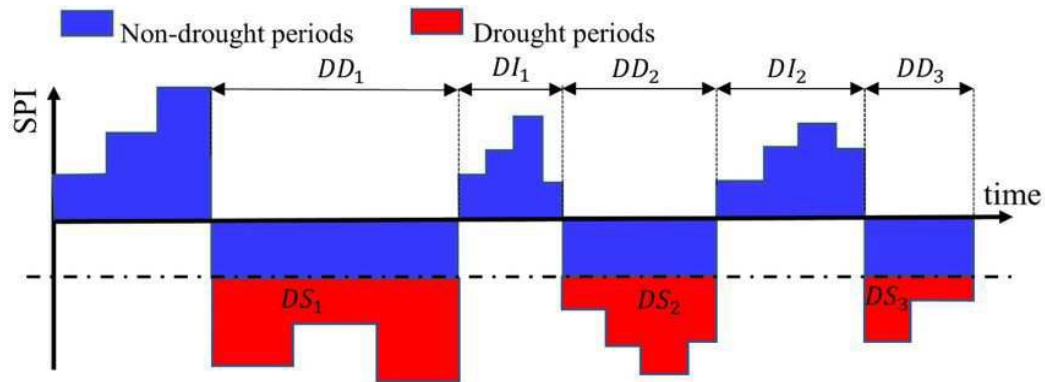
도면2



도면3



도면4



도면5

