

Mathematical description of Greenhouse Digital Twin

Deyviss Jesús Oroya-Villalta^a

^aUniversidad de Deusto, Avenida de las Universidades 24, 48007 Bilbao, Basque Country, Spain

Abstract

El control de la temperatura y humedad interior es de las variables más importante a controlar en un invernadero. El potencial de crecimiento la temperature diaria además de la humedad relativa. En este estudio proponemos un sistema de control predictivo teniendo en cuenta que el objetivo del control es mantener las condiciones climática dentro de un intervalo y donde de un puntos de operación. Se presenta simulaciones y ajuste con datos de un invernadero en el norte de España.

Keywords: MPC, Agriculture Control, Interval Target Control

1. Introduction

La idea de este documento explicar los detalles del simulador de invernaderos desarrollado de MATLAB/Simulink. Este esta basado en el modelo presentado en [1], aunque esta adaptado a un invernadero localizado en Meñaka-Vizcaya, País Vasco, España, además de agregar un sistema de nebulización.

2. State of Art

3. Mathematical Models

3.1. Materials

Data Sources

1. Meñaka Greenhouse
2. Open Weather Meñaka Historical Data

3.2. Radiation Model

El modelo de radiación contempla las variables de radiación exterior, radiación interior y pantalla de sombreo.

Type	Name	Not.
Outputs	Interior Radiation	R_i
Controls	Shade Screens	u_s
Disturbances	Exterior Radiation	R_e

Table 1: Climate Variables

En algunas aproximaciones los modelos de radiación son mucho más complejos considerando las radiación infraroja

de los elementos considerados mediante la ley de Krichoff, sin embargo en este modelo consideraremos que existe una relación lineal entre la radiación exterior y la radiación interior

$$R_i = \mathcal{G}(u_s)R_e \quad (3.1)$$

Shade Screens. La interacción más sencilla es el pantalla de sombreado, este actúa opacando la radiación recibida del exterior, además de modificando la capacidad calorífica del invernadero. En este caso consideraremos que la pantalla de sombreo, la radiación exterior R_e y la radiación interior sigue la siguiente relación instantánea.

$$\mathcal{G}(u_s) = \gamma \left(1 - \eta_s \frac{u_s}{100} \right) \quad (3.2)$$

Donde γ es la proporción de radiación interior cuando las pantallas de sombre están completamente cerradas. Por otra parte η_s es la capacidad de atenuación de la pantalla de sombreo. Dependiendo del material de la pantalla la atenuación puede variar des 20% hasta 60%.

3.3. Temperature Model

El modelo climático de este invernadero esta basado en los elementos principales presentados en [1]. Este modelo de clima contiene variables de valor de temperatura de distintos elementos del invernadero, además de una variable para de la radiación interior. Los elementos son el aire interior, la cobertura superior, el suelo, y dos capas más profundas del suelo y la propia vegetación. Por último se ha añadido la temperatura de termostato, de manera que el aumento de la temperatura por el termostato es debido a la conducción del aire interior y el propio termostato.

3.3.1. Elementos considerados

Cuando trabajamos con modelos de temperatura es necesario crear una red de elementos capaces de absorber

*Fully documented templates are available in the elsarticle package on [**CTAN**](https://www.ctan.org/).

URL: djoroya@deusto.es (Deyviss Jesús Oroya-Villalta)

y emanar de distintos tipos. Existen tres tipos de formas de transmisión de calor para la variación de temperatura: convección, conducción, radiación. Considerados estos elementos podemos crear una red de transferencia de calor para cada tipo transmisión. El calor intercambiado será finalmente superposición de estas redes.

En este caso consideraremos las siguientes elementos:

Name	Subscript
Indoor Air	i
Cover	c
Floor	f
Soil	s
Vegetation	v
Ground	g

Table 2: Elements of Temperature Model

3.3.2. Conservation Equations

Energy Conservation Equation.

Type	Name	Not.
Outputs	Indoor Temperature	T_i
	Cover Temperature	T_c
	Floor Temperature	T_f
	Soil Temperature	T_s
	Vegetation Temperature	T_v
Controls	Ventilation	u_w
	Heating System	u_h
	Fogging System	u_f
Disturbances	Exterior Temperature	T_e
	Interior Radiation	R_i
	Wind Velocity	W_v

Table 3: Climate Variables

$$\begin{aligned}
c_i \dot{T}_i &= Q_{vi}^c - Q_{if}^c - Q_{ic}^c - Q_{ie}^c + Q_{ei}^s + Q_{hi}^c \\
c_c \dot{T}_c &= Q_{ic}^c - Q_{ic}^c - Q_{ce}^c + Q_{ec}^s \\
c_f \dot{T}_f &= Q_{if}^c - Q_{sf}^\kappa \\
c_s \dot{T}_s &= Q_{sf}^\kappa - Q_{sg}^\kappa \\
c_v \dot{T}_v &= Q_{vi}^c - Q_{vi}^t
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Donde hemos considerado que existe los siguientes tipos de transferencia de energía:

1. Convección $Q_{a \rightarrow b}^c$.

$$Q_{a \rightarrow b}^c = A_{ab} \nu \lambda_{air} (T_a - T_b) / d_{ab} \tag{3.4}$$

Donde λ_{air} es la conductividad térmica

2. por conducción entre elementos denotado por Q^κ
3. absorbido por radiación solar denotado por Q^s ,
4. por evapo-transporación denotado por Q^t .

Por otro lado, siguiendo la leyes de conservación de masa se puede formular la siguiente ecuación para la humedad absoluta interior H_i

Type	Name	Not.
Outputs	Indoor Humidity	T_i
Controls	Ventilation	u_w
	Fogging System	u_f
Disturbances	Exterior Temperature	T_e
	Interior Radiation	R_i
	Wind Velocity	W_v

Table 4: Climate Variables

$$v_i \dot{H}_i = M_{ie}^d + M_{vi}^t - M_{fi}^p - M_{ci}^p \tag{3.5}$$

3.3.3. Control Systems

A continuación presentaremos los controladores de climate considerados. Cada uno de ellos tiene asociado un modelo de interacción con el modelo de clima.

Ventilation System. Sin embargo, la tasa de ventilación esta tomado de [2]. Además se ha agregado un adicional para el termostato.

$$s \tag{3.6}$$

Heating System. En general, un termostato se puede considerar como un término adicional de calor en el balance de energía del invernadero. Este término adicional es dependiente de la señal generada por el termostato. En este caso estamos interesados en modelar un termostato con histéresis. Este contiene un *thresh hold* para el apagado y otro para el encendido.

Fogging System

3.4. Crop growth Model

3.5. Gas exchange Model

4. Greenhouse Control Model

5.

6. Conclusion

References

- [1] B. H. Vanthoor, C. Stanghellini, E. J. Van Henten, P. H. De Visser, [A methodology for model-based greenhouse design: Part 1, a greenhouse climate model for a broad range of designs and climates](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.06.001), Biosystems Engineering 110 (4) (2011) 363–377. doi:10.1016/j.biosystemseng.2011.06.001. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.06.001>

- [2] T. Boulard, A. Baille, Analysis of thermal performance of a greenhouse as a solar collector, *Energy in Agriculture* 6 (1) (1987) 17–26. [doi:10.1016/0167-5826\(87\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0167-5826(87)90018-0).