

PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ HỖ TRỢ QUY TRÌNH SẢN XUẤT LÊN MEN, VÀ PHƯƠNG TIỆN GHI HỮU HÌNH BẤT KHẢ BIẾN

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến kỹ thuật để hỗ trợ quy trình sản xuất lên men để tạo ra đối tượng đích trong bình nuôi cấy trong đó vi sinh vật được nuôi cấy và phương tiện ghi hữu hình bất khả biến.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tài liệu sáng chế 1 dưới đây mô tả phương pháp nghiên cứu quy trình nuôi cấy tế bào có thể nghiên cứu các điều kiện nuôi cấy tối ưu không có các thử nghiệm lặp lại trong việc nuôi cấy tế bào và sản xuất sinh học.

Phương pháp này bao gồm bước tạo ra điều kiện quy trình để tạo ra nhiều điều kiện quy trình, bước dự đoán kết quả nuôi cấy để thu thập kết quả dự đoán kết quả nuôi cấy đối với nhiều điều kiện quy trình, và bước thu thập điều kiện quy trình tối ưu hóa để tìm ra điều kiện quy trình tối ưu từ kết quả dự đoán nuôi cấy. Bước dự đoán kết quả nuôi cấy bao gồm bước thu thập điều kiện quy trình, bước thu thập điều kiện giới hạn hấp thu, bước tính tối ưu hóa, và bước tính thay đổi nồng độ, và bước tính tối ưu hóa tính tốc độ dòng chuyển hóa (tốc độ tiêu thụ) bằng mô hình toán học (mô hình vòng chuyển hóa) liên quan đến sự chuyển hóa tế bào trên cơ sở thành phần môi trường nuôi cấy (nồng độ thành phần môi trường nuôi cấy) và điều kiện giới hạn hấp thu.

Tài liệu viện dẫn

Tài liệu sáng chế 1: WO 2021/166824 A

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế đề xuất phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men, phương pháp này là phương pháp để hỗ trợ quy trình sản xuất lên men để tạo ra đối tượng đích trong bình nuôi cấy trong đó vi sinh vật được nuôi cấy, trong đó một hoặc nhiều bộ

xử lý có thể sử dụng mô hình được học mà nhập thông tin nuôi cấy ít nhất bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể và xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thực hiện: bước dự đoán tập tính nuôi cấy để lặp lại, đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy định trước, chu trình dự đoán bao gồm bước dự đoán thứ nhất để thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bằng cách nhập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình được học và bước dự đoán thứ hai để thu thập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo; bước thu thập xu hướng để thu thập thông tin xu hướng chính sách điều khiển mà là một bộ chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy và trong đó ít nhất một trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định một cách riêng biệt dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy; và bước xác định điều kiện tối ưu để xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể tương ứng ở mỗi thời điểm nuôi cấy để chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa ở mỗi thời điểm nuôi cấy trong thông tin xu hướng chính sách điều khiển đã thu thập trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất được tối ưu hóa.

Ngoài ra, sáng chế đề xuất thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men bao gồm ít nhất bộ nhớ và một hoặc nhiều bộ xử lý nêu trên, thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men nêu trên.

Hơn nữa, sáng chế cũng đề xuất chương trình để làm cho máy tính thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men nêu trên, và cũng đề xuất phương tiện ghi có thể đọc được bằng máy tính ghi chương trình như vậy. Phương tiện ghi bao gồm phương tiện ghi hữu hình bất khả biến.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ sơ lược thể hiện ví dụ về hệ thống nuôi cấy.

Fig.2 là sơ đồ thể hiện theo khái niệm một ví dụ về cấu hình phân cứng của thiết bị xử lý thông tin có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ nhất và phương án thứ hai.

Fig.3 là sơ đồ để giải thích phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo

phương án thứ nhất.

Fig.4 là sơ đồ để giải thích phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ hai.

Fig.5 là sơ đồ thể hiện dòng dữ liệu của sự dự đoán tập tính nuôi cấy trong các Ví dụ.

Fig.6 là bảng thể hiện các kết quả của thử nghiệm chứng minh.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trong phương pháp nêu trên được mô tả dưới dạng giải pháp kỹ thuật đã biết, nhiều điều kiện quy trình được tạo ra, kết quả dự đoán nuôi cấy được thu thập đối với mỗi điều kiện quy trình, và điều kiện quy trình tối ưu được thấy từ mỗi kết quả dự đoán nuôi cấy.

Tuy nhiên, phương pháp này không cho phép thu thập điều kiện quy trình thích hợp suốt quy trình sản xuất lên men. Điều này là vì môi trường nuôi cấy đang thay đổi theo thời gian, và vi sinh vật thay đổi tuần tự cân bằng chuyển hóa của chúng đáp ứng môi trường bên ngoài, trong khi đó phương pháp nêu trên dường như bỏ qua các yếu tố thời gian của điều kiện quy trình.

Mặc dù phương pháp nêu trên được thực hiện đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, lượng tính trở nên lớn, mà là không thực tế dưới dạng phương pháp thực hiện.

Sáng chế đã được tạo ra khi xem xét vấn đề như vậy, và đề xuất kỹ thuật có thể thu thập các điều kiện nuôi cấy thích hợp đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong quy trình sản xuất lên men.

Sáng chế có thể đề xuất kỹ thuật có thể thu thập các điều kiện nuôi cấy thích hợp đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong quy trình sản xuất lên men.

Sau đây, các ví dụ về phương án ưu tiên của sáng chế (sau đây, được gọi là phương án này) sẽ được mô tả. Lưu ý rằng phương án này được mô tả dưới đây là một ví dụ, và sáng chế không bị giới hạn ở dạng kết cấu sau.

Phương án này được mô tả dưới đây là phương pháp để hỗ trợ quy trình sản xuất lên men, và phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo hai phương án

sẽ được lấy làm ví dụ dưới đây. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ nhất được gọi là phương pháp hỗ trợ thứ nhất, và phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ hai được gọi là phương pháp hỗ trợ thứ hai.

Trước tiên, các vấn đề chung trong phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai sẽ được mô tả.

Trong quy trình sản xuất lên men, đối tượng đích được tạo ra trong bình nuôi cấy trong đó vi sinh vật được nuôi cấy.

Fig.1 là sơ đồ sơ lược thể hiện ví dụ về hệ thống nuôi cấy.

Fig.1 thể hiện một ví dụ về thùng nuôi cấy trong đó sự nuôi cấy lỏng được thực hiện, và vi sinh vật được nuôi cấy trong dung dịch nuôi cấy trong thùng nuôi cấy (bình nuôi cấy).

Trong hệ thống nuôi cấy như vậy, nhiệt độ trong thùng nuôi cấy hoặc dung dịch nuôi cấy, chỉ số ion hydro (độ pH) của dung dịch nuôi cấy, và yếu tố tương tự được đo, và sự nạp chất nền, mà là nguồn chất dinh dưỡng cần thiết cho việc nuôi cấy vi sinh vật, sự cấp oxy, và tương tự được điều khiển, vì vậy việc tạo ra đối tượng đích (sản phẩm đích) kết hợp với quy trình sản xuất lên men được thúc đẩy.

Phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai hỗ trợ sự tối ưu hóa quy trình sản xuất lên men bằng cách thu thập các điều kiện nuôi cấy thích hợp đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong quy trình sản xuất lên men như vậy.

Chất nền được nạp vào thùng nuôi cấy dưới dạng dung dịch, và dung dịch được biểu thị dưới dạng dung dịch đầu vào chất nền trong bản mô tả này.

Oxy được cấp bằng cách di chuyển liên tục không khí từ ống cấp không khí ở tốc độ dòng thiết lập tùy ý trong đó ống cấp không khí được bố trí ở phần dưới của thùng nuôi cấy và ống xả được bố trí ở phần trên của thùng nuôi cấy. Hơn nữa, hiệu quả cấp oxy có thể được tăng bằng cách khuấy ở tốc độ thiết lập tùy ý bằng cách sử dụng cánh khuấy.

Ngoài ra, trong tập tính nuôi cấy, như được minh họa bằng ví dụ trên Fig.1, ngoài đối tượng đích, các chất khác (sản phẩm phụ, cacbon dioxit, và tương tự) cũng

được tạo ra.

Tuy nhiên, phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai không được dự tính chỉ dùng cho sự nuôi cấy lỏng được thể hiện bằng ví dụ trên Fig.1, mà có thể được dự tính dùng cho sự nuôi cấy rắn.

Ngoài ra, thích hợp là một loại vi sinh vật và môi trường nuôi cấy có thể được xác định theo đối tượng đích cần được tạo ra, và phương pháp hỗ trợ này không giới hạn vi sinh vật cần được nuôi cấy, chất nền, đối tượng đích, và tương tự.

Vi sinh vật bao gồm, ví dụ, chủng vi khuẩn, chủng thuộc chủng nấm, tế bào không biệt hóa và nuôi cấy mô của động vật hoặc thực vật.

Môi trường nuôi cấy có thể chứa, ví dụ, các thành phần khác nhau thường được chứa trong môi trường nuôi cấy của vi sinh vật như nguồn cacbon, nguồn nitơ, muối kim loại như muối magie hoặc muối kẽm, sulfat, phosphat, chất điều chỉnh độ pH, chất hoạt động bề mặt, và chất chống tạo bọt.

Chất nền bao gồm, ví dụ, sacarit như glucoza, sucroza, và fructoza, rượu như etanol và metanol, axit hữu cơ như axit xitric, axit malic, và axit succinic, và mật đường thải, và tương tự.

Đối tượng đích hoặc sản phẩm phụ bao gồm, ví dụ, axit hữu cơ, axit amin, rượu, kháng thể, enzym, đồng enzym, vitamin, carbohydrat, axit béo, và axit nucleic dưới dạng các chất được tạo ra bởi sự chuyển hóa của vi sinh vật.

[Ví dụ về cấu hình phần cứng]

Phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai được thực hiện bởi một hoặc nhiều bộ xử lý được bao gồm trong một hoặc nhiều thiết bị xử lý thông tin.

Fig.2 là sơ đồ thể hiện theo khái niệm một ví dụ về cấu hình phần cứng của thiết bị xử lý thông tin 10 có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai.

Thiết bị xử lý thông tin 10 là máy tính, và bao gồm CPU 11, bộ nhớ 12, giao diện nhập/xuất (I/F) 13, bộ phận truyền thông 14, và tương tự. Thiết bị xử lý thông tin 10 có thể là máy tính cá nhân cố định (PC) hoặc thiết bị đầu cuối xách tay như PC xách tay, điện thoại thông minh, máy tính bảng, và tương tự.

CPU 11 là bộ xử lý, và có thể bao gồm mạch tích hợp chuyên dụng (ASIC), bộ xử lý tín hiệu số (DSP), bộ xử lý đồ họa (GPU), và tương tự, ngoài bộ xử lý trung tâm thông thường (CPU). Bộ nhớ 12 là bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên (RAM), bộ nhớ chỉ đọc (ROM), hoặc bộ phận lưu trữ phụ trợ (như ổ cứng).

Giao diện nhập/xuất I/F 13 có thể được kết nối với bộ phận giao diện người dùng như bộ phận hiển thị 15 và bộ phận nhập 16. Bộ phận hiển thị 15 là bộ phận mà hiển thị màn hình tương ứng với dữ liệu vẽ được tạo ra bởi CPU 11 hoặc tương tự, như màn hình tinh thể lỏng (LCD) và ống tia âm cực (CRT). Bộ phận nhập 16 là bộ phận mà tiếp nhận sự nhập của thao tác người dùng như bàn phím và chuột. Bộ phận hiển thị 15 và bộ phận nhập 16 có thể được tích hợp và được thực hiện dưới dạng bảng điều khiển cảm ứng.

Bộ phận truyền thông 14 thực hiện truyền thông với các máy tính khác thông qua mạng truyền thông, trao đổi tín hiệu với các bộ phận khác như máy in, và tương tự. Phương tiện ghi cầm tay hoặc tương tự cũng có thể được kết nối với bộ phận truyền thông 14.

Cấu hình phần cứng của thiết bị xử lý thông tin 10 không bị giới hạn ở ví dụ của Fig.2. Thiết bị xử lý thông tin 10 có thể bao gồm các chi tiết phần cứng khác không được thể hiện trên các hình vẽ. Ngoài ra, số chi tiết phần cứng không bị giới hạn ở ví dụ của Fig.2. Ví dụ, thiết bị xử lý thông tin 10 có thể bao gồm nhiều CPU 11. Ngoài ra, thiết bị xử lý thông tin 10 có thể được thực hiện bởi nhiều bộ phận của máy tính bao gồm nhiều vỏ.

Thiết bị xử lý thông tin 10 có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai bởi CPU 11 thực hiện chương trình máy tính được lưu trữ trong bộ nhớ 12. Ngoài ra, cũng có thể được diễn đạt rằng CPU 11 có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai bởi sự thực hiện của chương trình máy tính được lưu trữ trong bộ nhớ 12. Chương trình máy tính này được cài đặt từ, ví dụ, phương tiện ghi cầm tay như đĩa compact (CD) và thẻ nhớ, hoặc máy tính khác trên mạng qua giao diện nhập/xuất I/F13 hoặc bộ phận truyền thông 14, và tiếp đó được lưu trữ trong bộ nhớ 12.

[Mô hình được học]

Thiết bị xử lý thông tin 10 (CPU 11) có thể sử dụng mô hình được học mà xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bằng cách nhập thông tin nuôi cấy. Mô hình được học có thể thu được bằng cách học máy trong đó dữ liệu người dạy bao gồm nhiều dạng kết hợp của thông tin nuôi cấy và nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được sử dụng.

Do đó, mô hình được học cũng có thể được gọi là mô hình dự đoán tập tính nuôi cấy.

Ngoài ra, thiết bị xử lý thông tin 10 có thể cũng được gọi là thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men có thể sử dụng mô hình được học và thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men.

“Thông tin nuôi cấy” là thông tin liên quan đến tập tính nuôi cấy của vi sinh vật, ít nhất bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể, và được nhập vào mô hình được học.

Thông tin nuôi cấy có thể bao gồm thông tin khác mà khó được gọi là điều kiện nuôi cấy. Ví dụ, như được mô tả sau đây, thông tin nuôi cấy có thể bao gồm nồng độ, tốc độ thay đổi (tốc độ tạo ra, tốc độ tiêu thụ, và tương tự), và trạng thái tạo ra của một thành phần cụ thể như đối tượng đích, sản phẩm phụ, cacbon dioxit, và chất nền trong bình nuôi cấy. Ngoài ra, thông tin nuôi cấy có thể bao gồm thông tin thể hiện trạng thái hoạt động của tế bào vi khuẩn của vi sinh vật trong bình nuôi cấy. Ví dụ, thông tin có thể là thông tin thể hiện trạng thái hoạt động của tế bào vi khuẩn của vi sinh vật trong bình nuôi cấy ở giai đoạn sinh trưởng của tế bào vi khuẩn hoặc ở giai đoạn sinh sản của đối tượng đích hay không theo biến phân loại, hoặc thông tin thể hiện tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn.

“Điều kiện nuôi cấy cụ thể” là điều kiện nuôi cấy mà có thể tác động đến quy trình sản xuất lên men, và là điều kiện nuôi cấy với đó trị số tối ưu cần thu được bởi phương pháp hỗ trợ này. Điều kiện nuôi cấy cụ thể là, ví dụ, nhiệt độ trong bình nuôi cấy, chỉ số ion hydro (độ pH) của dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy, tốc độ truyền oxy, tốc độ tiêu thụ oxy, và tương tự. Ngoài ra, nồng độ chất nền trong dung dịch nuôi cấy cũng có thể được bao gồm trong điều kiện nuôi cấy cụ thể. Tuy nhiên,

nồng độ chất nền không phải được xử lý dưới dạng điều kiện nuôi cấy cụ thể, và có thể được xử lý dưới dạng nồng độ của thành phần cụ thể trong bình nuôi cấy nêu trên.

“Chỉ số trạng thái nuôi cấy” là trị số chỉ số có thể thể hiện trạng thái nuôi cấy trong bình nuôi cấy, và là thông tin xuất từ mô hình được học. Chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm, ví dụ, nồng độ hoặc tốc độ thay đổi của thành phần cụ thể trong bình nuôi cấy, hoặc cả hai. Thành phần cụ thể ở đây có thể là thành phần bất kỳ có mặt trong bình nuôi cấy, có thể là thành phần được hòa tan trong dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy, hoặc có thể là thành phần khí trong bình nuôi cấy. Ngoài ra, chỉ số trạng thái nuôi cấy có thể bao gồm chỉ số trạng thái tế bào vi khuẩn như tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trong bình nuôi cấy.

Tốc độ thay đổi của thành phần cụ thể dưới dạng chỉ số trạng thái nuôi cấy nghĩa là tốc độ thay đổi của lượng chất của thành phần cụ thể trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn (khối lượng tế bào vi khuẩn ướt), và là, ví dụ, một phần hoặc tất cả tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra của cacbon dioxit, hoặc tốc độ tiêu thụ của chất nền, như được mô tả sau đây.

Như nêu trên, mô hình được học theo phương án này chỉ cần được xây dựng để có thể xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy sử dụng thông tin nuôi cấy ít nhất bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể dưới dạng đầu vào, và các nội dung cụ thể của điều kiện nuôi cấy cụ thể và thông tin nuôi cấy và các chỉ số trạng thái nuôi cấy cụ thể không bị giới hạn.

Ngoài ra, tốt hơn nếu mô hình được học theo phương án này được xây dựng để chỉ xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy chỉ sử dụng thông tin nuôi cấy dưới dạng đầu vào, và thông tin nuôi cấy và các chỉ số trạng thái nuôi cấy được tạo ra bởi chỉ một biến chuyên sâu hoặc một số không thứ nguyên, hoặc cả hai.

Nhiệt độ, chỉ số ion hydro, tốc độ truyền oxy ($\text{mol/m}^3/\text{h}$), và tốc độ tiêu thụ oxy ($\text{mol/m}^3/\text{h}$) dưới dạng điều kiện nuôi cấy cụ thể được bao gồm trong thông tin nuôi cấy cũng là các biến chuyên sâu hoặc các số không thứ nguyên. Ngoài ra, tốc độ thay đổi của thành phần cụ thể dưới dạng chỉ số trạng thái nuôi cấy được thể hiện, ví dụ, bởi tốc độ thay đổi của một lượng chất (mol/g/h) trên mỗi đơn vị lượng tế bào vi

khuẩn (mỗi 1 g tế bào vi khuẩn), và có thể được gọi là biến chuyên sâu. Hơn nữa, nồng độ của thành phần cụ thể dưới dạng chỉ số trạng thái nuôi cấy cũng được thể hiện bởi, ví dụ, khối lượng thành phần (g/L) trên mỗi đơn vị thể tích của dung dịch nuôi cấy, và có thể được gọi là biến chuyên sâu.

Như nêu trên, bằng cách thiết lập đầu vào và đầu ra của mô hình AI với biến chuyên sâu hoặc số không thứ nguyên, sự dự đoán tập tính nuôi cấy độc lập với hình dạng và dung tích của bình nuôi cấy (thùng nuôi cấy) là có thể thực hiện được. Nói cách khác, thậm chí tập tính nuôi cấy trong thùng nuôi cấy có hình dạng và dung tích khác với thùng nuôi cấy từ đó thu được dữ liệu người dạy có thể được dự đoán với độ chính xác cao.

Hơn nữa, mô hình được học theo phương án này có thể là phương trình hồi quy thu được bởi sự phân tích hồi quy hoặc mô hình mạng thần kinh thu được bởi sự phân tích thành phần chủ yếu, học sâu, hoặc tương tự, và cấu trúc dữ liệu, thuật toán học, và tương tự của mô hình không bị giới hạn.

Ví dụ, mô hình được học được thực hiện bởi sự kết hợp của chương trình máy tính và thông số, sự kết hợp của nhiều hàm và thông số, hoặc tương tự. Trong trường hợp mà mô hình được học được xây dựng bởi mạng lưới thần kinh và lớp đầu vào, lớp trung gian, và lớp đầu ra được xem là một đơn vị của một mạng lưới thần kinh, mô hình được học có thể đề cập đến một mạng lưới thần kinh hoặc có thể đề cập đến sự kết hợp của nhiều mạng lưới thần kinh. Ngoài ra, mô hình được học có thể được tạo ra bởi sự kết hợp của nhiều phương trình hồi quy bội, hoặc có thể được tạo ra bởi một phương trình hồi quy bội.

Mô hình được học sử dụng trong ví dụ mô tả sau đây được tạo ra bởi sự kết hợp của nhiều mô hình hàm, mỗi mô hình trong đó là hàm thể hiện phản ứng hoạt động tế bào vi khuẩn bằng cách tính gần đúng, sử dụng thông tin nuôi cấy làm biến đầu vào và chỉ số trạng thái nuôi cấy làm biến đầu ra. Nhiều mô hình hàm được xây dựng sử dụng sự hồi quy của học có giám sát, và mỗi mô hình hàm sử dụng ít nhất một phần thông tin nuôi cấy dưới dạng dữ liệu đầu vào của mô hình được học dưới dạng biến đầu vào, và sử dụng một loại trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy

dưới dạng dữ liệu đầu ra của mô hình được học dưới dạng biến đầu ra.

Mô hình được học có thể được lưu trữ trong bộ nhớ 12 trong thiết bị xử lý thông tin 10, hoặc có thể được lưu trữ trong bộ nhớ của máy tính khác có thể truy cập bởi thiết bị xử lý thông tin 10 nhờ sự truyền thông.

Lưu ý rằng thuật toán học cụ thể để xây dựng mô hình được học không bị giới hạn theo bất kỳ cách nào.

Sau đây, mô hình được học sử dụng trong phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai được gọi là mô hình AI. Ngoài ra, trong phần mô tả sau, đối tượng thực hiện của phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai được mô tả dưới dạng CPU 11.

[Phương án thứ nhất]

Sau đây, các chi tiết về phương pháp hỗ trợ thứ nhất sẽ được mô tả dựa vào Fig.3. Fig.3 là sơ đồ để giải thích phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ nhất.

Phương pháp hỗ trợ thứ nhất chủ yếu bao gồm bước thu thập xu hướng (S31), bước xác định điều kiện tối ưu (S32), và bước dự đoán tập tính nuôi cấy (S33) (S34).

Sau đây, mỗi bước sẽ được mô tả chi tiết.

Trong bước thu thập xu hướng (S31), CPU 11 thu thập thông tin xu hướng chính sách điều khiển. Sau đây, thông tin xu hướng chính sách điều khiển có thể viết tắt là xu hướng chính sách. CPU 11 có thể đọc xu hướng chính sách được lưu trữ trước trong bộ nhớ 12, có thể thu thập xu hướng chính sách được lưu trữ trong bộ nhớ của máy tính khác thông qua truyền thông, hoặc có thể thu thập xu hướng chính sách được lưu trữ trong phương tiện ghi cầm tay. Ngoài ra, CPU 11 có thể hiển thị màn hình nhập trên bộ phận hiển thị 15 và thu thập xu hướng chính sách trên cơ sở sự nhập dữ liệu bởi người dùng thông qua màn hình nhập.

Thông tin xu hướng chính sách điều khiển là một bộ chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, và có thể được tạo ra bởi một chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, có thể được tạo ra bởi nhiều chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, hoặc có thể được tạo ra bởi số chỉ số tùy ý cần

được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy.

Chỉ số cần được tối ưu hóa là chỉ số được tối ưu hóa trong sự xác định trị số tối ưu trong bước xác định điều kiện tối ưu (S32), trong đó ít nhất một trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy mà xuất thông tin của mô hình AI được định rõ. Theo phương án này, ví dụ sẽ được mô tả trong đó xu hướng chính sách được tạo ra với một chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy.

Ví dụ, trong trường hợp mà mô hình AI được xây dựng để xuất tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra của cacbon dioxit, và tốc độ tiêu thụ của chất nền dưới dạng các chỉ số trạng thái nuôi cấy, và trường hợp mà tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra của cacbon dioxit, và tốc độ tiêu thụ của chất nền được biểu thị bởi ký hiệu nhận dạng “0”, “1”, “2”, và “3”, xu hướng chính sách được tạo ra như sau.

Thông tin xu hướng chính sách điều khiển = [22223000011...]

Khi thu thập xu hướng chính sách, CPU 11 đọc chỉ số cần được tối ưu hóa từ xu hướng chính sách theo thứ tự của các thời điểm nuôi cấy, và thực hiện bước xác định điều kiện tối ưu (S32) và bước dự đoán tập tính nuôi cấy (S33) (S34) trên cơ sở các chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy (vòng L1(S) đến vòng L1(E)).

Bước dự đoán tập tính nuôi cấy là bước dự đoán tập tính nuôi cấy trong bình nuôi cấy bằng cách lặp lại, đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy định trước, chu trình dự đoán bao gồm bước dự đoán thứ nhất (S33) và bước dự đoán thứ hai (S34).

Trong bước dự đoán thứ nhất (S33), CPU 11 thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bằng cách nhập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình AI. Mặc dù không được thể hiện trên Fig.3, thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy ban đầu (0) bao gồm trị số ban đầu của điều kiện nuôi cấy cụ thể và được thu thập từ bộ nhớ 12.

Trong bước dự đoán thứ hai (S34), CPU 11 thu thập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo. Như nêu trên, bước dự đoán thứ hai (S34) là bước chuẩn bị

cho chu trình dự đoán tiếp theo.

Có các kiểu phương pháp thu thập thông tin nuôi cấy khác nhau trong bước dự đoán thứ hai (S34). Có kiểu trong đó một phần hoặc tất cả thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo được thu thập từ danh sách thông tin nuôi cấy trong đó thông tin nuôi cấy được xác định trước đối với mỗi thời điểm nuôi cấy được lưu trữ. Cũng có thể là kiểu trong đó một phần hoặc tất cả thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo được tính sử dụng một phần hoặc tất cả các loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất ngay trước đó.

Ở đây, một kiểu sẽ được lấy làm ví dụ trong đó mô hình AI được xây dựng để thông tin nuôi cấy bao gồm nồng độ của đối tượng đích ngoài điều kiện nuôi cấy cụ thể và bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích dưới dạng một trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy. Trong kiểu này, trong bước dự đoán thứ nhất (S33), CPU 11 thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể và nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình AI. Trong bước dự đoán thứ hai (S34), CPU 11 tính nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo ít nhất sử dụng tốc độ tạo ra của đối tượng đích bao gồm trong nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất (S33). Để tính nồng độ của đối tượng đích, biểu thức tính như phương trình cân bằng chất như được mô tả sau đây được sử dụng.

Điều kiện nuôi cấy cụ thể bao gồm, ví dụ, nhiệt độ trong bình nuôi cấy, chỉ số ion hydro của dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy, và trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể nêu trên được xác định một cách tương ứng đối với mỗi thời điểm nuôi cấy. Trị số ứng viên để thu được trị số ban đầu và trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể có thể được thu thập từ danh sách thông tin nuôi cấy được lưu trữ trong bộ nhớ 12.

Tốc độ tiêu thụ oxy (OCR) nghĩa là tốc độ tiêu thụ oxy ($\text{mol}/\text{m}^3/\text{h}$) trên mỗi đơn vị thể tích của dung dịch nuôi cấy bởi vi sinh vật trong bình nuôi cấy.

Tốc độ truyền oxy (OTR) nghĩa là tốc độ truyền oxy ($\text{mol}/\text{m}^3/\text{h}$) trên mỗi đơn

vị thế tích của dung dịch nuôi cấy tại đó oxy được cấp vào bình nuôi cấy di chuyển vào dung dịch nuôi cấy để trở thành oxy hòa tan.

Liên quan đến tốc độ tiêu thụ oxy và tốc độ truyền oxy, thích hợp là một loại tốc độ được sử dụng theo cùng một cách theo phương pháp hỗ trợ thứ nhất và phương pháp hỗ trợ thứ hai. Điều này là vì sự cấp oxy sẽ giảm trong quá trình nuôi cấy vì tốc độ tại đó oxy được hòa tan trong dung dịch nước (dung dịch nuôi cấy) là chậm. Ví dụ, bằng cách đo nồng độ oxy và tốc độ dòng không khí trên mỗi phía cấp và phía xả không khí trong hệ thống nuôi cấy, có thể thu được, từ khác biệt về lượng oxy đi qua (mol/h) trên mỗi đơn vị thời gian ở mỗi điểm, bao nhiêu oxy đã được cấp trên mỗi đơn vị lượng dung dịch nuôi cấy (m^3), tức là, tốc độ truyền oxy OTR ($mol/m^3/h$). Mặt khác, vì lượng oxy mà có thể được hòa tan trong dung dịch nuôi cấy là rất nhỏ so với tốc độ truyền oxy (tiêu thụ) trên mỗi đơn vị thời gian, theo phương trình cân bằng sau của oxy trong dung dịch nuôi cấy, tốc độ truyền oxy OTR và tốc độ tiêu thụ oxy OCR có thể được xử lý một cách cân bằng bằng cách xem trị số liên quan đến nồng độ oxy hòa tan gần như bằng 0.

$$OTR (mol/m^3/h) = OCR (mol/m^3/h) + (nồng độ oxy hòa tan (g/m^3)/lượng chất oxy (g/mol))/\Delta t(h)$$

Lưu ý rằng mặc dù oxy dạng khí cũng có mặt trong dung dịch nuôi cấy, chỉ oxy trong dung dịch có sẵn trong tế bào vi khuẩn, và tốc độ tại đó oxy hòa tan trong dung dịch nước (dung dịch nuôi cấy) là thấp. Do đó, oxy của khí trong dung dịch được bỏ qua trong phương trình cân bằng nêu trên.

Ngoài ra, nhiệt độ trong bình nuôi cấy có thể là nhiệt độ của dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy, nhiệt độ của không khí trong bình nuôi cấy, hoặc cả hai.

Trong bước dự đoán thứ nhất (S33), CPU 11 thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm nồng độ của đối tượng đích, nhiệt độ, và chỉ số ion hydro, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy vào mô hình AI. Trong bước dự đoán thứ hai (S34), CPU 11 xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể (nhiệt độ, chỉ số ion hydro, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy) được xác định trong bước

xác định điều kiện tối ưu (S32) dưới dạng điều kiện nuôi cấy cụ thể ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo, và, ít nhất sử dụng nó và tốc độ tạo ra của đối tượng đích thu thập trong bước dự đoán thứ nhất (S33), tính nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo.

Vì trong kiểu này, bằng cách bổ sung nồng độ đối tượng đích của dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy vào thông tin đầu vào và bổ sung tốc độ tạo ra của đối tượng đích vào thông tin đầu ra, mô hình AI có thể đánh giá tập tính nuôi cấy với độ chính xác cao có thể được xây dựng.

Hơn nữa, bằng cách bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể như vậy (cụ thể, tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy) ngoài nồng độ đối tượng đích trong thông tin nuôi cấy nhập vào mô hình AI, độ chính xác đánh giá của mô hình AI có thể được cải thiện, và cuối cùng, độ chính xác dự đoán của tập tính nuôi cấy có thể được cải thiện.

Tuy nhiên, điều kiện nuôi cấy cụ thể có thể còn bao gồm thông tin khác khác với nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy, và tốc độ tiêu thụ oxy, và thông tin nuôi cấy có thể còn bao gồm nồng độ của thành phần cụ thể trong bình nuôi cấy như nồng độ chất nền ngoài nồng độ đối tượng đích.

Mô hình AI có thể được xây dựng sao cho thông tin nuôi cấy còn bao gồm thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn thể hiện trạng thái hoạt động của tế bào vi khuẩn của vi sinh vật theo biến phân loại.

Trong trường hợp này, trong bước dự đoán thứ nhất (S33), CPU 11 thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn ngoài nồng độ đối tượng đích và điều kiện nuôi cấy cụ thể ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình AI.

Thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn thể hiện, ví dụ, dưới dạng trạng thái hoạt động của tế bào vi khuẩn của vi sinh vật trong bình nuôi cấy, dù trạng thái ở giai đoạn sinh trưởng của tế bào vi khuẩn hoặc ở giai đoạn sinh sản của đối tượng đích với biến phân loại (0 hoặc 1).

Bằng cách bổ sung thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn vào thông tin nuôi cấy

nhập vào mô hình AI theo cách này, phản ứng hoạt động tế bào vi khuẩn có thể được mô phỏng trong mô hình AI, và cuối cùng độ chính xác dự đoán của tập tính nuôi cấy có thể được cải thiện thêm.

Trong trường hợp mà thông tin nuôi cấy bao gồm thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn, tốt hơn nếu điều kiện nuôi cấy cụ thể được bao gồm trong thông tin nuôi cấy bao gồm tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy. Điều này là vì độ chính xác đánh giá của tốc độ tạo ra của đối tượng đích trong mô hình AI có thể được tăng cường bằng cách sử dụng tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy dưới dạng thông tin đầu vào. Hơn nữa, vì trạng thái hoạt động của tế bào vi khuẩn có thể được đánh giá sử dụng tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy, tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy có thể được sử dụng để tính thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo.

Mô hình AI có thể được xây dựng sao cho thông tin nuôi cấy còn bao gồm thông tin trạng thái sản phẩm phụ thể hiện trạng thái tăng và giảm của sản phẩm phụ trong bình nuôi cấy theo biến phân loại.

Trong trường hợp này, trong bước dự đoán thứ nhất (S33), CPU 11 thu thập tốc độ tạo ra của đối tượng đích và tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm thông tin trạng thái sản phẩm phụ ngoài nồng độ đối tượng đích và điều kiện nuôi cấy cụ thể ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình AI.

Thông tin trạng thái sản phẩm phụ là thông tin thể hiện trạng thái tăng và giảm của sản phẩm phụ kèm theo việc tạo ra sản phẩm phụ bởi vi sinh vật, và là, ví dụ, thông tin thể hiện xem trạng thái là trạng thái tăng hoặc trạng thái giảm với biến phân loại (0 hoặc 1). Tại thời điểm này, sản phẩm phụ là chất tương ứng với sản phẩm trung gian trong đường chuyển hóa trong đó tế bào vi khuẩn tạo ra đối tượng đích. Do đó, trạng thái tăng của sản phẩm phụ thể hiện trạng thái chuyển hóa trong đó sự chuyển hóa sau sản phẩm trung gian bị đình trệ trong đường chuyển hóa, và trạng thái giảm của sản phẩm phụ thể hiện trạng thái chuyển hóa trong đó sự chuyển hóa sau sản phẩm trung gian được thúc đẩy. Ngoài ra, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ thể hiện trị số dương với trạng thái chuyển hóa trong đó sự chuyển hóa sau sản phẩm

trung gian bị đình trệ, và thể hiện trị số âm với trạng thái chuyển hóa trong đó sự chuyển hóa sau sản phẩm trung gian được thúc đẩy. Lưu ý rằng thành phần cụ thể trong trường hợp này thể hiện đối tượng đích hoặc chất nền.

Bằng cách bổ sung thông tin trạng thái sản phẩm phụ vào thông tin nuôi cấy nhập vào mô hình AI theo cách này, phản ứng hoạt động tế bào vi khuẩn có thể được mô phỏng trong mô hình AI, và cuối cùng độ chính xác dự đoán của tập tính nuôi cấy có thể được cải thiện thêm.

Trong kiểu tính nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo sử dụng tốc độ tạo ra của đối tượng đích, ví dụ, phương trình cân bằng chất sau có thể được sử dụng.

Trong ví dụ của phương trình cân bằng sau (Phương trình 1), n_{TGT} là lượng chất (mol) của đối tượng đích, r_{TGT} là tốc độ tạo ra (mol/g/h) của đối tượng đích, và $B(t)$ là khối lượng tế bào vi khuẩn (g) của tế bào vi khuẩn cụ thể của vi sinh vật ở thời điểm nuôi cấy t . Ngoài ra, trong ví dụ của (Phương trình 2), MW_{TGT} là khối lượng phân tử (g/mol) của đối tượng đích, V là lượng dung dịch nuôi cấy (L) ở thời điểm nuôi cấy $(t+1)$, và C_{TGT} là nồng độ đối tượng đích (g/L) trong dung dịch nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy $(t+1)$.

Trong trường hợp này, trong bước dự đoán thứ hai (S34), CPU 11 có thể tính lượng chất n_{TGT} của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo $(t+1)$ bằng cách giải phương trình vi phân của (Phương trình 1), và có thể tính nồng độ đối tượng đích C_{TGT} trong dung dịch nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo $(t+1)$ bằng cách thay thế lượng chất vào (Phương trình 2).

[Phương trình toán học 1]

$$\frac{dn_{TGT}}{dt} = r_{TGT} \cdot B(t) \quad \dots \quad \text{(Phương trình 1)}$$

$$C_{TGT} = \frac{n_{TGT} \cdot MW_{TGT}}{V} \quad \dots \quad \text{(Phương trình 2)}$$

Tuy nhiên, phương trình cân bằng chất sử dụng trong bước dự đoán thứ hai (S34) không bị giới hạn ở ví dụ như vậy.

$B(t)$ và V trong (Phương trình 1) và (Phương trình 2) nêu trên có thể được lấy ra từ danh sách trị số được xác định trước đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, hoặc có thể được tính bởi phương trình cân bằng chất hoặc tương tự.

Ví dụ, như được minh họa bằng ví dụ trong (Phương trình 3) sau, CPU 11 có thể tính khối lượng tế bào vi khuẩn cụ thể của vi sinh vật ở mỗi thời điểm nuôi cấy trên cơ sở thời gian nuôi cấy đã qua và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy ở mỗi thời điểm nuôi cấy.

Khối lượng tế bào vi khuẩn cụ thể tính được ở đây nghĩa là khối lượng ướt hoặc khối lượng khô của loại tế bào vi khuẩn cụ thể của vi sinh vật được nuôi cấy trong bình nuôi cấy, và có thể nhắm đến một loại trong số tế bào vi khuẩn hoặc hai hoặc nhiều loại tế bào vi khuẩn.

Trong (Phương trình 3), $\min\{\}$ là hàm mà lấy trị số nhỏ hơn giữa trị số ở phía bên trái và trị số ở phía bên phải được tách bởi dấu phẩy. Phía bên trái thể hiện trạng thái trong đó oxy hòa tan trong dung dịch nuôi cấy là dư và tế bào vi khuẩn cụ thể sinh trưởng theo thời gian t , và phía bên phải thể hiện trạng thái giới hạn trên trong đó oxy hòa tan là không đủ, trạng thái giới hạn trên phù hợp với tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy.

Ngoài ra, trong (Phương trình 3), BCI là nồng độ tế bào vi khuẩn ban đầu của tế bào vi khuẩn cụ thể của vi sinh vật trong bình nuôi cấy, và mỗi k_1 , k_2 , và k_3 là một trị số cố định. Trị số của BCI được thu thập dưới dạng trị số ban đầu trong bước thứ nhất (S31), ví dụ. k_1 , k_2 , và k_3 là các trị số thu được bởi các thử nghiệm bởi các tác giả sáng chế, và là, ví dụ, $k_1 = 0,18$, $k_2 = 17,5$, và $k_3 = 0,334$. Tuy nhiên, k_1 , k_2 , và k_3 có thể được thay đổi một cách thích hợp theo trị số của BCI, loại vi sinh vật, hoặc môi trường nuôi cấy.

Trong (Phương trình 3), tốc độ truyền oxy OTR có thể được thay thế bằng tốc độ tiêu thụ oxy OCR.

[Phương trình toán học 2]

$$\frac{B(t)}{V} = \min\{BCI \cdot \exp(k1 \cdot t), k2 \cdot OTR^{k3}\}$$

... (Phương trình 3)

Trong ví dụ của (Phương trình 3) nêu trên, lượng dung dịch nuôi cấy V ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo (t+1) có thể được lấy ra từ danh sách trị số được xác định trước hoặc có thể được tính bởi phương trình cân bằng chất hoặc tương tự.

CPU 11 có thể tính nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo ít nhất sử dụng khối lượng tế bào vi khuẩn cụ thể tính được như vậy và tốc độ tạo ra của đối tượng đích thu thập trong bước dự đoán thứ nhất (S33). Khi (Phương trình 1), (Phương trình 2), và (Phương trình 3) nêu trên được sử dụng, khối lượng tế bào vi khuẩn B(t) của tế bào vi khuẩn cụ thể của vi sinh vật ở thời điểm nuôi cấy t được tính bởi (Phương trình 3), lượng chất n_{TGT} của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo (t+1) có thể được tính bằng cách giải phương trình vi phân của (Phương trình 1) sử dụng B(t) tính được và tốc độ tạo ra r_{TGT} của đối tượng đích thu thập trong bước dự đoán thứ nhất (S33), và nồng độ đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo (t+1) có thể được tính sử dụng (Phương trình 2).

Trong trường hợp mà thông tin nuôi cấy nhập vào mô hình AI bao gồm thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn, trong bước dự đoán thứ hai (S34), CPU 11 thu thập thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo.

Thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn tiếp theo có thể được thu thập từ danh sách trị số được xác định trước đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, hoặc có thể được tính sử dụng tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy bao gồm trong điều kiện nuôi cấy cụ thể.

Trong trường hợp sau, ví dụ, thông tin hoạt động tế bào vi khuẩn được thiết lập ở trị số (0) thể hiện rằng trạng thái hoạt động của tế bào vi khuẩn ở giai đoạn sinh trưởng của tế bào vi khuẩn khi phía bên trái được lựa chọn (giảm) trong hàm $\min\{\}$ của (Phương trình 3) nêu trên, và được thiết lập ở trị số (1) thể hiện rằng nó ở giai

đoạn sinh sản của đối tượng đích khi phía bên phải được lựa chọn (giảm).

Ngoài ra, trong trường hợp mà thông tin nuôi cấy nhập vào mô hình AI bao gồm thông tin trạng thái sản phẩm phụ, và tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ được thu thập từ mô hình AI dưới dạng một trong số các tốc độ thay đổi của thành phần cụ thể, trong bước dự đoán thứ hai (S34), CPU 11 có thể thu thập thông tin trạng thái sản phẩm phụ ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo sử dụng tốc độ tạo ra đã thu thập của sản phẩm phụ.

Ví dụ, thông tin trạng thái sản phẩm phụ được thiết lập ở trị số (0) thể hiện trạng thái tăng của sản phẩm phụ ở trạng thái mà tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ bằng 0 hoặc lớn hơn, và được thiết lập ở trị số (1) thể hiện trạng thái giảm của sản phẩm phụ trong trường hợp mà tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ nhỏ hơn 0.

Ngoài ra, trong trường hợp mà mô hình AI được xây dựng để chỉ số trạng thái nuôi cấy, mà là thông tin đầu ra, bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích và tốc độ tiêu thụ chất nền, nồng độ chất nền trong dung dịch nuôi cấy có thể được tính sử dụng phương trình cân bằng chất sau hoặc tương tự.

Trong ví dụ của phương trình cân bằng sau (Phương trình 4), n_{SBS} là lượng chất (mol) của chất nền, r_{SBS} là tốc độ tiêu thụ (mol/g/h) của chất nền, và $B(t)$ là khối lượng tế bào vi khuẩn (g) của tế bào vi khuẩn cụ thể của vi sinh vật ở thời điểm nuôi cấy t , C_{Feed} là nồng độ chất nền (g/L) trong dung dịch đầu vào chất nền, $F_{SBS}(t)$ là tốc độ đầu vào chất nền (L/h) ở thời điểm nuôi cấy t , và MW_{SBS} là khối lượng phân tử (g/mol) của chất nền. Ngoài ra, trong ví dụ của (Phương trình 5), V là lượng dung dịch nuôi cấy (L) ở thời điểm nuôi cấy $(t+1)$.

Trong trường hợp này, CPU 11 có thể thu thập C_{Feed} và $F_{SBS}(t)$ dưới dạng thông tin đầu vào chất nền ở thời điểm nuôi cấy t , có thể tính lượng chất n_{SBS} của chất nền ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo $(t+1)$ bằng cách giải phương trình vi phân của phương trình (4) sử dụng các mẫu thông tin đầu vào chất nền này và tốc độ tiêu thụ r_{SBS} của chất nền được thu thập từ mô hình AI trong bước dự đoán thứ nhất (S33), và có thể tính nồng độ chất nền C_{SBS} trong dung dịch nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo $(t+1)$ bằng cách thay thế lượng chất vào (Phương trình 5). Phương pháp thu thập đối

với khối lượng tế bào vi khuẩn $B(t)$ ở thời điểm nuôi cấy t là như nêu trên.

[Phương trình toán học 3]

$$\frac{dn_{SBS}}{dt} = -r_{SBS} \cdot B(t) + \frac{C_{Feed}}{MW_{SBS}} \cdot F_{SBS}(t) \quad \dots \text{ (Phương trình 4)}$$

$$C_{SBS} = \frac{n_{SBS} \cdot MW_{SBS}}{V} \quad \dots \text{ (Phương trình 5)}$$

Tuy nhiên, phương trình tính đối với nồng độ chất nền không bị giới hạn ở ví dụ như vậy. Ngoài ra, thông tin đầu vào chất nền bao gồm C_{Feed} và $F_{SBS}(t)$ được lưu trữ trong danh sách thông tin chất nền đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, và CPU 11 có thể thu thập C_{Feed} và $F_{SBS}(t)$ từ danh sách này dưới dạng thông tin đầu vào chất nền ở thời điểm nuôi cấy t .

Trong bước xác định điều kiện tối ưu (S32), CPU 11 xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể tương ứng ở mỗi thời điểm nuôi cấy để chỉ số trạng thái nuôi cấy xác định, dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa ở mỗi thời điểm nuôi cấy, trong xu hướng chính sách thu thập trong bước (S21) được tối ưu hóa, chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được thu thập từ mô hình AI trong bước dự đoán thứ nhất (S33).

Ví dụ, trong trường hợp mà mô hình AI được xây dựng để xuất tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra của cacbon dioxit, và tốc độ tiêu thụ của chất nền dưới dạng các chỉ số trạng thái nuôi cấy, và trong trường hợp mà ký hiệu nhận dạng “2” của tốc độ tạo ra của cacbon dioxit được xác định dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa ở thời điểm nuôi cấy ($t=2$) trong xu hướng chính sách, trị số của điều kiện nuôi cấy cụ thể sao cho tốc độ tạo ra của cacbon dioxit được tối ưu hóa trong số bốn loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được thu thập từ mô hình AI bằng cách nhập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy ($t=2$) (sao cho tốc độ tạo ra trở nên nhanh nhất, chậm nhất, hoặc tốc độ mong muốn được xác định

trước) được xác định dưới dạng trị số tối ưu.

Trong bước xác định điều kiện tối ưu (S32), các loại phương pháp tối ưu hóa khác nhau có thể được sử dụng. Ví dụ, bằng cách sử dụng phương pháp tối ưu hóa Bayesian, chi phí tính có thể được giảm.

CPU 11 đọc các chỉ số cần được tối ưu hóa theo thứ tự của các thời điểm nuôi cấy từ xu hướng chính sách và thực hiện mỗi bước xác định điều kiện tối ưu (S32) và bước dự đoán tập tính nuôi cấy (S33) (S34) trên cơ sở các chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy, nhờ đó có thể thu thập trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy xác định trước.

Tức là, theo phương pháp hỗ trợ thứ nhất, có thể thu thập điều kiện thích hợp theo xu hướng chính sách dưới dạng điều kiện nuôi cấy đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong quy trình sản xuất lên men. Hơn nữa, bằng cách sử dụng nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy xuất từ mô hình AI trên cơ sở trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy, thông tin kết quả nuôi cấy như lượng tạo ra của đối tượng đích, sản phẩm phụ, và tương tự và lượng tiêu thụ của chất nền cũng có thể được thu thập.

[Phương án thứ hai]

Tiếp theo, các chi tiết về phương pháp hỗ trợ thứ hai sẽ được mô tả dựa vào Fig.4. Fig.4 là sơ đồ để giải thích phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ hai.

Phương pháp hỗ trợ thứ hai bao gồm tất cả các bước tạo nên phương pháp hỗ trợ thứ nhất nêu trên, và trong phần mô tả sau, các nội dung liên quan đến phương pháp hỗ trợ thứ nhất sẽ không được lặp lại. Trên Fig.4, các bước của phương pháp hỗ trợ thứ nhất được thể hiện trên Fig.3 bao gồm trong phần được biểu thị dưới dạng “Sơ đồ FIG.3”.

Phương pháp hỗ trợ thứ hai bao gồm bước thu thập đích (S40), bước tạo ra chính sách (S41), bước thu thập kết quả (S43), và bước lựa chọn chính sách (S45) ngoài các bước của phương pháp hỗ trợ thứ nhất.

Sau đây, mỗi bước sẽ được mô tả chi tiết.

Trong bước thu thập đích (S40), CPU 11 thu thập thông tin chất lượng đích.

“Thông tin chất lượng đích” là thông tin thể hiện chất lượng đích cuối trong quy trình sản xuất lên men, và ví dụ, tối đa hóa sản lượng của đối tượng đích trên mỗi chất nền đầu vào, tối đa hóa lượng tạo ra của đối tượng đích, tối thiểu hóa lượng còn lại của sản phẩm phụ, tối thiểu hóa lượng chất nền còn lại, và tương tự được thiết lập.

CPU 11 có thể đọc thông tin chất lượng đích được lưu trữ trước trong bộ nhớ 12, có thể thu thập thông tin chất lượng đích được lưu trữ trong bộ nhớ của máy tính khác thông qua truyền thông, hoặc có thể thu thập thông tin chất lượng đích được lưu trữ trong phương tiện ghi cầm tay. Ngoài ra, CPU 11 có thể hiển thị màn hình nhập trên bộ phận hiển thị 15 và thu thập thông tin chất lượng đích trên cơ sở sự nhập dữ liệu bởi người dùng thông qua màn hình nhập.

Trong bước tạo ra chính sách (S41), CPU 11 tạo ra nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển. Thông tin xu hướng chính sách điều khiển giống với thông tin sử dụng trong phương pháp hỗ trợ thứ nhất, và cũng được viết tắt ở đây là xu hướng chính sách.

CPU 11 tạo ra nhiều xu hướng chính sách sao cho các chỉ số cần được tối ưu hóa ở ít nhất một thời điểm nuôi cấy là khác nhau.

Ví dụ, CPU 11 tạo ra nhiều xu hướng chính sách sử dụng thuật toán di truyền trên cơ sở một hoặc nhiều xu hướng chính sách được lựa chọn trong bước lựa chọn chính sách (S45) để được mô tả sau. Cụ thể, vì một hoặc nhiều xu hướng chính sách tốt hơn phù hợp với thông tin chất lượng đích được lựa chọn trong bước lựa chọn chính sách (S45), nhiều xu hướng chính sách được tạo ra bằng cách kết hợp (kết hợp lại) các chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy được thể hiện bởi xu hướng chính sách tốt đã lựa chọn hoặc bằng cách biến đổi (thay đổi) tỷ lệ xác định trước (vài %) của các chỉ số cần được tối ưu hóa.

Bằng cách sử dụng thuật toán di truyền để tạo ra xu hướng chính sách theo cách này, sự tối ưu hóa xu hướng chính sách có thể được thực hiện một cách hiệu quả, và cuối cùng, chi phí tính có thể được giảm.

Tuy nhiên, thuật toán tối ưu hóa dùng cho phương pháp tạo ra của xu hướng

chính sách trong bước (S41) không bị giới hạn.

Sau khi thực hiện bước tạo ra chính sách (S41), CPU 11 lựa chọn từng xu hướng chính sách một, và thực hiện các bước của phương pháp hỗ trợ thứ nhất và bước thu thập kết quả (S43) trên cơ sở mỗi xu hướng chính sách (vòng L2(S) đến vòng L2(E)).

Khi phương pháp hỗ trợ thứ nhất được thực hiện tương ứng trên cơ sở mỗi xu hướng chính sách, trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy xác định trước được thu thập tương ứng theo mỗi xu hướng chính sách, và bước dự đoán tập tính nuôi cấy ở mỗi thời điểm nuôi cấy được thực hiện tương ứng sử dụng trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể.

Do vậy, trong bước thu thập kết quả (S43), CPU 11 có thể thu thập chỉ số kết quả nuôi cấy qua thời gian nuôi cấy xác định trước đối với mỗi xu hướng chính sách do sự dự đoán tập tính nuôi cấy (thực hiện bước dự đoán thứ nhất (S33) và bước dự đoán thứ hai (S34)) ở mỗi thời điểm nuôi cấy sử dụng điều kiện nuôi cấy cụ thể được tối ưu hóa theo mỗi xu hướng chính sách.

Nhờ kết quả của sự dự đoán tập tính nuôi cấy ở mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy xác định trước, thông tin như lượng tạo ra của thành phần cụ thể (đối tượng đích, sản phẩm phụ, cacbon dioxit, và tương tự), lượng đầu vào, lượng tiêu thụ và lượng chất nền còn lại trong bình nuôi cấy qua thời gian nuôi cấy xác định trước có thể được thu thập.

CPU 11 thu thập chỉ số kết quả nuôi cấy phù hợp với thông tin chất lượng đích bằng cách xử lý (tính) thông tin như vậy để phù hợp với chất lượng được thể hiện bởi thông tin chất lượng đích thu thập trong bước (S40). Ví dụ, trong trường hợp mà thông tin chất lượng đích thể hiện sự tối đa hóa sản lượng của đối tượng đích trên mỗi chất nền đầu vào, CPU 11 thu thập sản lượng của đối tượng đích dưới dạng chỉ số kết quả nuôi cấy bằng cách chia lượng tạo ra của đối tượng đích bởi lượng chất nền đầu vào. Ngoài ra, trong trường hợp mà thông tin chất lượng đích thể hiện sự tối đa hóa lượng tạo ra của đối tượng đích, lượng tạo ra của đối tượng đích được thu thập dưới dạng chỉ số kết quả nuôi cấy, trong trường hợp mà thông tin chất lượng đích thể

hiện sự tối thiểu hóa lượng còn lại của sản phẩm phụ, lượng tạo ra của sản phẩm phụ được thu thập dưới dạng chỉ số kết quả nuôi cấy, và trong trường hợp mà thông tin chất lượng đích thể hiện sự tối thiểu hóa lượng chất nền còn lại, lượng chất nền còn lại được thu thập dưới dạng chỉ số kết quả nuôi cấy.

Khi các bước của phương pháp hỗ trợ thứ nhất và bước thu thập kết quả (S43) được thực hiện đối với tất cả các xu hướng chính sách được tạo ra trong bước (S41), vòng L2 được thoát ra và bước lựa chọn chính sách (S45) được thực hiện.

Trong bước lựa chọn chính sách (S45), CPU 11 lựa chọn một hoặc nhiều xu hướng chính sách phù hợp với thông tin chất lượng đích từ trong số nhiều xu hướng chính sách trên cơ sở chỉ số kết quả nuôi cấy được thu thập đối với mỗi xu hướng chính sách. Ở đây, một xu hướng chính sách tương ứng với chỉ số kết quả nuôi cấy có mức độ phù hợp cao nhất với chất lượng đích được thể hiện bởi thông tin chất lượng đích có thể được lựa chọn, hoặc nhiều xu hướng chính sách có thể được lựa chọn theo thứ tự giảm dần của mức độ phù hợp với chất lượng đích của chỉ số kết quả nuôi cấy. Trong trường hợp mà thuật toán di truyền được sử dụng trong bước (S41), ví dụ, hai xu hướng chính sách được lựa chọn theo thứ tự giảm dần của mức độ phù hợp của chỉ số kết quả nuôi cấy với chất lượng đích.

Ngoài ra, ví dụ, trong trường hợp mà thông tin chất lượng đích thể hiện tối đa hóa sản lượng của đối tượng đích trên mỗi chất nền đầu vào, và sản lượng của đối tượng đích trên mỗi chất nền đầu vào được thu thập dưới dạng chỉ số kết quả nuôi cấy, một xu hướng chính sách tương ứng với chỉ số kết quả nuôi cấy tối đa (sản lượng) được lựa chọn hoặc số xu hướng chính sách xác định trước tương ứng với số chỉ số kết quả nuôi cấy xác định trước được lựa chọn theo thứ tự giảm dần của các chỉ số kết quả nuôi cấy (sản lượng). Ngoài ra, ví dụ, trong trường hợp mà thông tin chất lượng đích thể hiện sự tối thiểu hóa lượng chất nền còn lại, và lượng chất nền còn lại được thu thập dưới dạng chỉ số kết quả nuôi cấy, một xu hướng chính sách tương ứng với chỉ số kết quả nuôi cấy tối thiểu (lượng chất nền còn lại) được lựa chọn hoặc số xu hướng chính sách xác định trước tương ứng với số chỉ số kết quả nuôi cấy xác định trước được lựa chọn theo thứ tự tăng dần của các chỉ số kết quả

nuôi cấy (lượng chất nền còn lại).

Trong bước (S47), CPU 11 xác định điều kiện kết thúc của sự tối ưu hóa xu hướng chính sách. Khi điều kiện kết thúc được thỏa mãn (S47; Có), CPU 11 kết thúc việc xử lý, và khi điều kiện kết thúc không được thỏa mãn (S47; Không), bước tạo ra chính sách (S41) và các bước tiếp theo lại được thực hiện.

Điều kiện kết thúc được xác định trong bước (S47) có thể là điều kiện bất kỳ miễn là cuối cùng xu hướng chính sách thích hợp nhất đối với chất lượng đích có thể được lựa chọn, và điều kiện cụ thể của nó không bị giới hạn. Ví dụ, theo kiểu trong đó thuật toán di truyền được sử dụng trong bước tạo ra chính sách (S41), số tạo ra của thuật toán được thiết lập dưới dạng điều kiện kết thúc. Ngoài ra, chỉ số kết quả nuôi cấy của xu hướng chính sách được lựa chọn trong bước lựa chọn chính sách trước (S45) có thể được so sánh với chỉ số kết quả nuôi cấy của xu hướng chính sách được lựa chọn trong bước lựa chọn chính sách hiện tại (S45), và điều kiện kết thúc có thể được thiết lập để chỉ số kết quả nuôi cấy hiện tại có thể mức độ phù hợp thấp hơn với chất lượng đích so với chỉ số kết quả nuôi cấy trước.

Bởi vậy, theo phương pháp hỗ trợ thứ hai, có thể thu thập xu hướng chính sách tối ưu phù hợp với chất lượng đích, và cũng thu thập trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy theo xu hướng chính sách tối ưu.

Điều này cho phép định rõ tự động sự điều khiển của quy trình sản xuất lên men bởi sự mô phỏng lên men dựa trên dữ liệu. Kết quả là, trong sự phát triển kỹ thuật sản xuất lên men, có thể thay đổi từ sự phát triển loại kiến thức thông thường mà đã được thực hiện phụ thuộc vào kinh nghiệm của người phát triển với sự phát triển dựa trên dữ liệu, và có thể đạt được sự cải thiện hiệu quả và tăng tốc độ phát triển của công nghệ sản xuất lên men.

Một phần hoặc tất cả các phương án nêu trên và các cải biến cũng có thể được xác định như sau. Tuy nhiên, các phương án nêu trên và các cải biến không bị giới hạn ở phần mô tả sau.

<1>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men để hỗ trợ quy trình sản xuất lên

men nhằm tạo ra đối tượng đích trong bình nuôi cấy trong đó vi sinh vật được nuôi cấy, trong đó

một hoặc nhiều bộ xử lý có thể sử dụng mô hình được học mà nhập thông tin nuôi cấy ít nhất bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể và xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thực hiện:

bước dự đoán tập tính nuôi cấy để lặp lại, đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy định trước, chu trình dự đoán bao gồm bước dự đoán thứ nhất để thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bằng cách nhập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình được học và bước dự đoán thứ hai để thu thập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo;

bước thu thập xu hướng để thu thập thông tin xu hướng chính sách điều khiển mà là một bộ chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy và trong đó ít nhất một trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định một cách riêng biệt dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy; và

bước xác định điều kiện tối ưu để xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể tương ứng ở mỗi thời điểm nuôi cấy để chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa ở mỗi thời điểm nuôi cấy trong thông tin xu hướng chính sách điều khiển đã thu thập trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất được tối ưu hóa.

<2>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục <1>, trong đó một hoặc nhiều bộ xử lý còn thực hiện:

bước thu thập đích để thu thập thông tin chất lượng đích;

bước tạo ra chính sách để tạo ra nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển;

bước thu thập kết quả để thu thập chỉ số kết quả nuôi cấy tương ứng với thông tin chất lượng đích qua thời gian nuôi cấy xác định trước bằng cách thực hiện bước dự đoán tập tính nuôi cấy sử dụng trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy được xác định trong bước xác định điều kiện tối ưu đối với mỗi

mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển tạo ra; và

bước lựa chọn chính sách để lựa chọn một hoặc nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển phù hợp với thông tin chất lượng đích trong số nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển trên cơ sở chỉ số kết quả nuôi cấy được thu thập đối với mỗi mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển.

<3>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục <2>, trong đó, trong bước tạo ra chính sách, một hoặc nhiều bộ xử lý tạo ra nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển sử dụng thuật toán di truyền trên cơ sở một hoặc nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển được lựa chọn trong bước lựa chọn chính sách.

<4>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục bất kỳ trong số các mục từ <1> đến <3>, trong đó

trong bước xác định điều kiện tối ưu, một hoặc nhiều bộ xử lý xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy sử dụng sự tối ưu hóa Bayesian.

<5>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục bất kỳ trong số các mục từ <1> đến <4>, trong đó

một hoặc nhiều bộ xử lý,

trong bước dự đoán thứ nhất, thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể và nồng độ của đối tượng đích vào mô hình được học, và

trong bước dự đoán thứ hai, tính nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo ít nhất sử dụng tốc độ tạo ra của đối tượng đích bao gồm trong nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy đã thu thập.

<6>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục <5>, trong đó

điều kiện nuôi cấy cụ thể bao gồm nhiệt độ trong bình nuôi cấy, chỉ số ion hydro của dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy, và

một hoặc nhiều bộ xử lý

trong bước dự đoán thứ nhất, thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm nồng độ của đối tượng đích, nhiệt độ, chỉ số ion hydro, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy vào mô hình được học, và

trong bước dự đoán thứ hai, thu thập nhiệt độ, chỉ số ion hydro, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo.

<7>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục bất kỳ trong số các mục từ <1> đến <4>, trong đó

trong bình nuôi cấy, ít nhất đối tượng đích, sản phẩm phụ, và cacbon dioxit được tạo ra và ít nhất một chất nền được tiêu thụ,

nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra cacbon dioxit, và tốc độ tiêu thụ của chất nền, và

chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy được thể hiện bởi thông tin xu hướng chính sách điều khiển bao gồm việc định rõ tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra cacbon dioxit, hoặc tốc độ tiêu thụ của chất nền.

<8>

Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục bất kỳ trong số các mục từ <1> đến <7>, trong đó

mô hình được học chỉ xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy chỉ sử dụng thông tin nuôi cấy dưới dạng đầu vào, và

thông tin nuôi cấy và nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được tạo ra bởi biến chuyên sâu hoặc số không thứ nguyên, hoặc cả hai.

<9>

Thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men bao gồm ít nhất bộ nhớ và một hoặc nhiều bộ xử lý, thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo mục bất kỳ trong số các mục từ <1> đến <8>.

Sau đây, các nội dung nêu trên sẽ được mô tả chi tiết hơn dựa vào các ví dụ. Tuy nhiên, sự mô tả các ví dụ sau không bổ sung giới hạn bất kỳ vào các nội dung nêu trên.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Trong ví dụ này, theo phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ hai nêu trên, đã được xác nhận rằng xu hướng chính sách tối ưu có thể được thu thập và trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy theo xu hướng chính sách đã thu thập có thể được thu thập, và tính thực tiễn của phương pháp được xác nhận từ thời gian xử lý của phương pháp.

Thử nghiệm nuôi cấy được thực hiện với quy trình sản xuất lên men để tạo ra axit hữu cơ (đối tượng đích) sử dụng vi khuẩn hiếu khí dưới dạng đích mang. Trong thử nghiệm nuôi cấy, các loại dữ liệu nuôi cấy khác nhau được thu thập bởi việc nuôi cấy thực sự vi sinh vật (vi khuẩn hiếu khí) sử dụng thùng nuôi cấy xác định trước (thùng khuấy có sục khí), và thực hiện việc lấy mẫu ở các khoảng thời gian cách nhau vài giờ trong thử nghiệm nuôi cấy. Việc học tiếp theo của mô hình AI được thực hiện sử dụng dữ liệu nuôi cấy đã thu thập. Như được mô tả sau đây, glucoza được sử dụng dưới dạng chất nền.

Fig.5 là sơ đồ thể hiện dòng dữ liệu dự đoán tập tính nuôi cấy trong các Ví dụ.

Trong ví dụ này, mô hình AI bao gồm sự kết hợp của năm mô hình hàm F0 đến F4 được sử dụng. Mỗi mô hình hàm F0 đến F4 là hàm mà biểu hiện gần đúng phản ứng hoạt động cơ thể tế bào vi khuẩn, và được xây dựng sử dụng sự hồi quy của việc học có giám sát với thông tin nuôi cấy dưới dạng biến đầu vào và một loại trong số các chỉ số trạng thái nuôi cấy dưới dạng biến đầu ra. Các biến đầu vào và các biến

đầu ra của mỗi mô hình hàm là như sau.

<Biến đầu ra>

- Mô hình hàm F0 = tốc độ tạo ra đối tượng đích trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn
- Mô hình hàm F1 = tốc độ tạo ra sản phẩm phụ trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn
- Mô hình hàm F2 = tốc độ tiêu thụ glucoza trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn
- Mô hình hàm F3 = tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn
- Mô hình hàm F4 = tốc độ tạo ra cacbon dioxid trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn

<Biến đầu vào>

- Mô hình hàm F0 = nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy (OTR), nồng độ glucoza, nồng độ đối tượng đích, tốc độ truyền oxy trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ tạo ra cacbon dioxid trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, và tốc độ tiêu thụ glucoza trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn
- Mô hình hàm F1 = nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy (OTR), nồng độ glucoza, nồng độ đối tượng đích, tốc độ tạo ra đối tượng đích trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ truyền oxy trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ tạo ra cacbon dioxid trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, và tốc độ tiêu thụ glucoza trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn
- Mô hình hàm F2 = nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy (OTR), nồng độ glucoza, tốc độ tạo ra đối tượng đích trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, nồng độ đối tượng đích, tốc độ truyền oxy trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ tạo ra cacbon dioxid trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, và tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn

- Mô hình hàm F3 = nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy (OTR), nồng độ glucoza, tốc độ tạo ra đối tượng đích trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, nồng độ đối tượng đích, tốc độ truyền oxy trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, và tốc độ tiêu thụ glucoza trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn

- Mô hình hàm F4 = nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy (OTR), nồng độ glucoza, thời gian nuôi cấy, tốc độ tạo ra đối tượng đích trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ truyền oxy trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, tốc độ tạo ra cacbon dioxid trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn, và tốc độ tiêu thụ glucoza trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn

Như trong ví dụ này, các biến đầu ra của năm mô hình hàm được thiết lập dưới dạng năm loại chỉ số trạng thái nuôi cấy dưới dạng thông tin đầu ra của mô hình AI. Trong ví dụ này, thông tin xu hướng chính sách điều khiển (xu hướng chính sách) có dạng trong đó một loại trong số năm loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định là chỉ số đích cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy. Tức là, tốc độ tạo ra đối tượng đích trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn được thể hiện bởi ký hiệu nhận dạng “0”, tốc độ tạo ra sản phẩm phụ trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn được thể hiện bởi ký hiệu nhận dạng “1”, tốc độ tiêu thụ glucoza trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn được thể hiện bởi ký hiệu nhận dạng “2”, tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn được thể hiện bởi ký hiệu nhận dạng “3”, và tốc độ tạo ra cacbon dioxid trên mỗi đơn vị khối lượng tế bào vi khuẩn được thể hiện bởi ký hiệu nhận dạng “4”. Ví dụ, xu hướng chính sách có thể được tạo ra như sau.

Xu hướng chính sách = [44422103...]

Trong ví dụ này, thời gian nuôi cấy được thiết lập ở 72 giờ, và khoảng cách tối ưu được thiết lập ở 5 phút. Do đó, 864 chỉ số cần được tối ưu hóa được xác định cứ mỗi 5 phút trong xu hướng chính sách.

Trong ví dụ này, trong mỗi trong số năm mô hình hàm, ít nhất một phần thông tin nuôi cấy dưới dạng thông tin đầu vào của mô hình AI được sử dụng dưới dạng

biến đầu vào, và điều kiện nuôi cấy cụ thể được bao gồm trong thông tin nuôi cấy là nhiệt độ, độ pH, tốc độ truyền oxy (OTR), và nồng độ glucoza.

Tiếp đó, trong bước xác định điều kiện tối ưu (S32), trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể như vậy được xác định. Trong ví dụ này, sự tối ưu hóa Bayesian được dùng cho sự tối ưu hóa điều kiện nuôi cấy cụ thể.

Như trong ví dụ này, trong bước dự đoán thứ nhất (S33) của bước dự đoán tập tính nuôi cấy, khi thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy nhất định được nhập vào biến đầu vào của mỗi trong số năm mô hình hàm, năm loại chỉ số trạng thái nuôi cấy nêu trên (thông số tốc độ) được thu thập dưới dạng các trị số của các biến đầu ra của năm mô hình hàm.

Trong bước dự đoán thứ hai (S34) của bước dự đoán tập tính nuôi cấy, thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo được thu thập trên cơ sở năm loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất (S33). Tốc độ tạo ra đối tượng đích thu được từ mô hình hàm F0, tốc độ tiêu thụ glucoza thu được từ mô hình hàm F2, tốc độ tạo ra cacbon dioxit thu được từ mô hình hàm F3, và tốc độ sinh trưởng tế bào vi khuẩn thu được từ mô hình hàm F4 được sử dụng dưới dạng thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo. Thông tin khác nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo thu được bằng cách sử dụng phương trình cân bằng chất như trong các phương trình (1) đến (5) nêu trên, các biểu thức tính khác, năm loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất (S33), và tương tự.

Trong ví dụ này, thông tin chất lượng đích được thiết lập với “sự tối đa hóa của đối tượng đích lượng tạo ra ở thời điểm kết thúc nuôi cấy” (bước thu thập đích (S40)), và thuật toán di truyền được dùng để tối ưu hóa xu hướng chính sách (50 cá thể, 50 thế hệ).

Trong ví dụ này, máy tính có các thông số kỹ thuật sau được làm cho thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men.

- CPU = Intel ® Xeon ® Gold 6258R 28 Core 56 thread x 2
- OS = Windows10 Pro
- RAM = 128GB

Kết quả là, thông tin xu hướng chính sách điều khiển tối ưu và trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy theo thông tin xu hướng chính sách điều khiển được thu thập theo thời gian xử lý khoảng 18,6 giờ.

Hơn nữa, trong ví dụ này, sử dụng thông tin xu hướng chính sách điều khiển tối ưu đã thu thập như vậy, và trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy phù hợp với thông tin xu hướng chính sách điều khiển, thử nghiệm chứng minh được tiến hành trong cùng một điều kiện (loại vi khuẩn hiếu khí, quy mô thùng nuôi cấy, và tương tự) như các điều kiện trong thử nghiệm nuôi cấy nêu trên.

Trong thử nghiệm chứng minh này, sự nuôi cấy được thực hiện thực sự trong 72 giờ, và lượng tạo ra (g) của đối tượng đích được đo ở các thời điểm sau 7 giờ, 24 giờ, 32 giờ, 48 giờ, và 72 giờ. Mặt khác, trị số dự đoán (g) của đối tượng đích lượng tạo ra ở mỗi thời điểm thu được trong bước dự đoán tập tính nuôi cấy của ví dụ này, và trị số đo và trị số dự đoán của đối tượng đích lượng tạo ra ở mỗi thời điểm được chuẩn hóa sử dụng trị số dự đoán của đối tượng đích lượng tạo ra sau 72 giờ (g/g-MAX).

Fig.6 là bảng thể hiện các kết quả của thử nghiệm chứng minh.

Trên Fig.6, thời gian nuôi cấy đã qua được thể hiện trong cột thời gian, và trị số dự đoán và trị số đo của đối tượng đích lượng tạo ra được chuẩn hóa như nêu trên được thể hiện trong các cột tương ứng của trị số dự đoán và trị số đo.

Kết quả là, sai số dự đoán của đối tượng đích lượng tạo ra sau 72 giờ được giới hạn ở 16%, và xu hướng tạo ra dự đoán của đối tượng đích gần đúng với kết quả thử nghiệm.

Hơn nữa, trong sự nuôi cấy theo trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể thu được trong ví dụ này, thu được kết quả trong đó lượng tạo ra cuối của đối tượng đích được cải thiện 5% so với trị số thông thường trước khi kiểm tra ví dụ.

Bởi vậy theo ví dụ này, trong phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo phương án thứ hai, đã xác nhận rằng xu hướng chính sách tối ưu có thể được thu thập và trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy theo xu hướng chính sách đã thu thập có thể được thu thập, và tính thực tiễn của phương pháp

đã được xác nhận từ quan điểm thời gian xử lý.

Đơn này yêu cầu quyền ưu tiên từ đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản số 2022-194671 nộp ngày 06.12.2022, mà được kết hợp toàn bộ ở đây bằng cách viện dẫn.

Danh sách số chỉ dẫn

- 10 Thiết bị xử lý thông tin (thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men)
- 11 CPU
- 12 Bộ nhớ
- 13 Giao diện nhập và xuất I/F
- 14 Bộ phận truyền thông
- 15 Bộ phận hiển thị
- 16 Bộ phận nhập

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men để hỗ trợ quy trình sản xuất lên men nhằm tạo ra đối tượng đích trong bình nuôi cấy trong đó vi sinh vật được nuôi cấy, trong đó

một hoặc nhiều bộ xử lý có thể sử dụng mô hình được học mà nhập thông tin nuôi cấy ít nhất bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể và xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thực hiện:

bước dự đoán tập tính nuôi cấy để lặp lại, đối với mỗi thời điểm nuôi cấy trong thời gian nuôi cấy định trước, chu trình dự đoán bao gồm bước dự đoán thứ nhất để thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bằng cách nhập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy nhất định vào mô hình được học và bước dự đoán thứ hai để thu thập thông tin nuôi cấy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo;

bước thu thập xu hướng để thu thập thông tin xu hướng chính sách điều khiển mà là một bộ chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy và trong đó ít nhất một trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định một cách riêng biệt dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy; và

bước xác định điều kiện tối ưu để xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể tương ứng ở mỗi thời điểm nuôi cấy để chỉ số trạng thái nuôi cấy được xác định dưới dạng chỉ số cần được tối ưu hóa ở mỗi thời điểm nuôi cấy trong thông tin xu hướng chính sách điều khiển đã thu thập trong số nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy thu thập trong bước dự đoán thứ nhất được tối ưu hóa.

2. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm 1, trong đó

một hoặc nhiều bộ xử lý còn thực hiện:

bước thu thập đích để thu thập thông tin chất lượng đích;

bước tạo ra chính sách để tạo ra nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển;

bước thu thập kết quả để thu thập chỉ số kết quả nuôi cấy tương ứng với thông tin chất lượng đích qua thời gian nuôi cấy xác định trước bằng cách thực hiện bước

dự đoán tập tính nuôi cấy sử dụng trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy được xác định trong bước xác định điều kiện tối ưu đối với mỗi mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển tạo ra; và

bước lựa chọn chính sách để lựa chọn một hoặc nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển phù hợp với thông tin chất lượng đích trong số nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển trên cơ sở chỉ số kết quả nuôi cấy được thu thập đối với mỗi mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển.

3. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm 2, trong đó,

trong bước tạo ra chính sách, một hoặc nhiều bộ xử lý tạo ra nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển sử dụng thuật toán di truyền trên cơ sở một hoặc nhiều mẫu thông tin xu hướng chính sách điều khiển được lựa chọn trong bước lựa chọn chính sách.

4. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó

trong bước xác định điều kiện tối ưu, một hoặc nhiều bộ xử lý xác định trị số tối ưu của điều kiện nuôi cấy cụ thể ở mỗi thời điểm nuôi cấy sử dụng sự tối ưu hóa Bayesian.

5. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó

một hoặc nhiều bộ xử lý,

trong bước dự đoán thứ nhất, thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm điều kiện nuôi cấy cụ thể và nồng độ của đối tượng đích vào mô hình được học, và

trong bước dự đoán thứ hai, tính nồng độ của đối tượng đích ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo ít nhất sử dụng tốc độ tạo ra của đối tượng đích được bao gồm trong nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy đã thu thập.

6. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm 5, trong đó

điều kiện nuôi cấy cụ thể bao gồm nhiệt độ trong bình nuôi cấy, chỉ số ion hydro của dung dịch nuôi cấy trong bình nuôi cấy, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy, và

một hoặc nhiều bộ xử lý

trong bước dự đoán thứ nhất, thu thập nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích bằng cách nhập thông tin nuôi cấy bao gồm nồng độ của đối tượng đích, nhiệt độ, chỉ số ion hydro, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy vào mô hình được học, và

trong bước dự đoán thứ hai, thu thập nhiệt độ, chỉ số ion hydro, và tốc độ truyền oxy hoặc tốc độ tiêu thụ oxy ở thời điểm nuôi cấy tiếp theo.

7. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó

trong bình nuôi cấy, ít nhất đối tượng đích, sản phẩm phụ, và cacbon dioxit được tạo ra và ít nhất chất nền được tiêu thụ,

nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy bao gồm tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra cacbon dioxit, và tốc độ tiêu thụ của chất nền, và

chỉ số cần được tối ưu hóa đối với mỗi thời điểm nuôi cấy được thể hiện bởi thông tin xu hướng chính sách điều khiển bao gồm sự định rõ tốc độ tạo ra của đối tượng đích, tốc độ tạo ra của sản phẩm phụ, tốc độ tạo ra cacbon dioxit, hoặc tốc độ tiêu thụ của chất nền.

8. Phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7, trong đó

mô hình được học chỉ xuất nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy chỉ sử dụng thông tin nuôi cấy dưới dạng đầu vào, và

thông tin nuôi cấy và nhiều loại chỉ số trạng thái nuôi cấy được tạo ra bởi biến chuyên sâu hoặc số không thứ nguyên, hoặc cả hai.

9. Thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men bao gồm ít nhất một bộ nhớ và một hoặc nhiều bộ xử lý,

thiết bị hỗ trợ quy trình sản xuất lên men này có thể thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8.

10. Phương tiện ghi dữ liệu bất khả biến có thể đọc được bằng máy tính ghi chương trình máy tính để làm cho máy tính bao gồm bộ nhớ và một hoặc nhiều bộ xử lý thực hiện phương pháp hỗ trợ quy trình sản xuất lên men theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8.

Fig.1

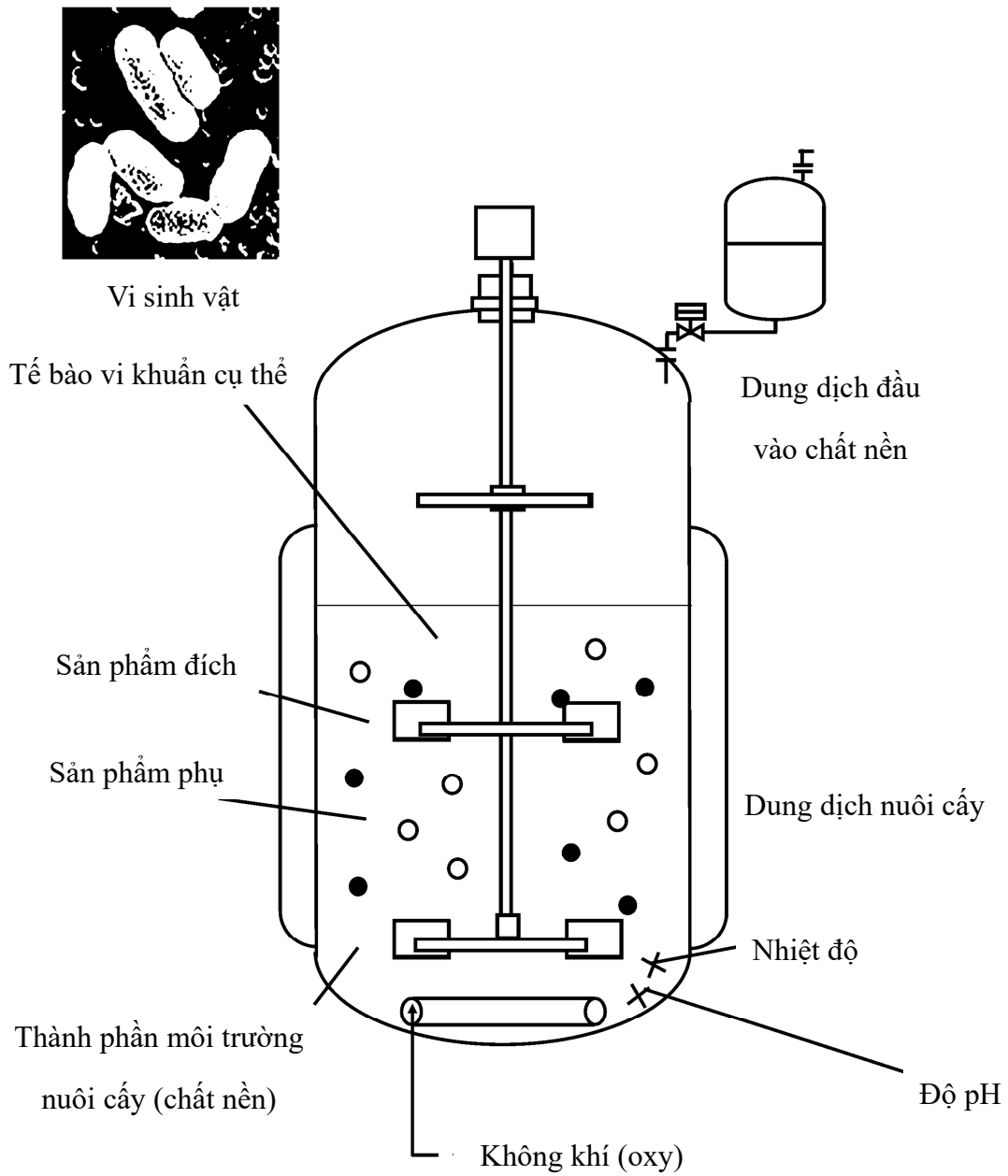


Fig.2

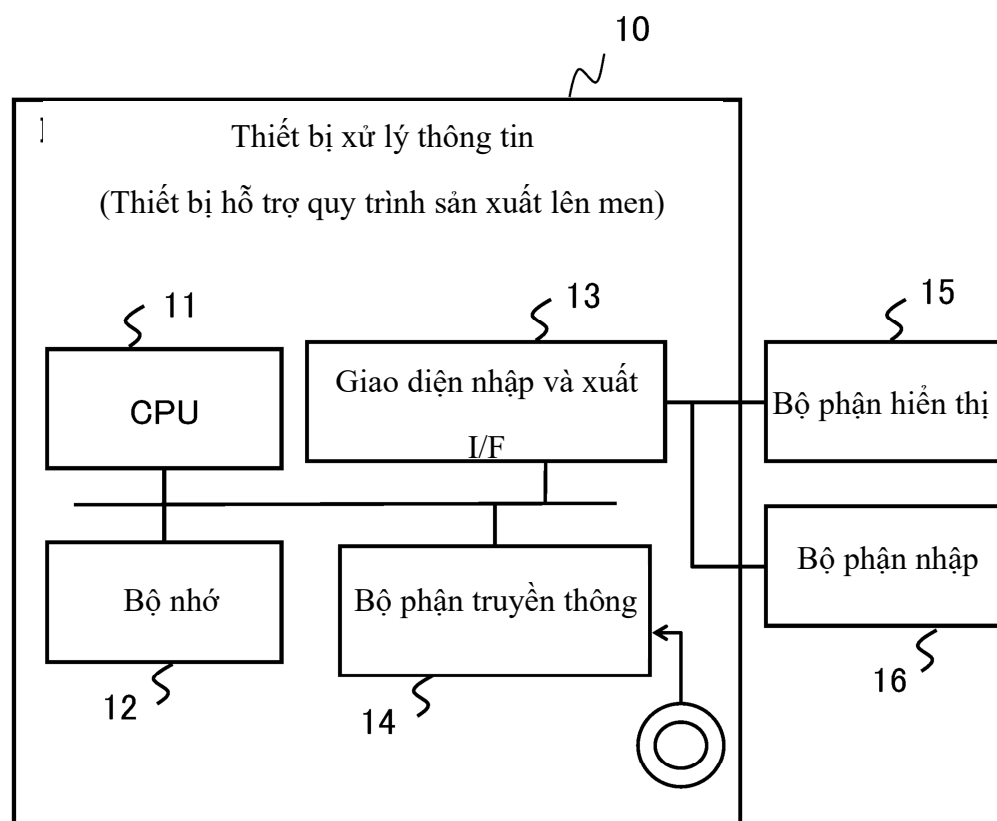


Fig.3

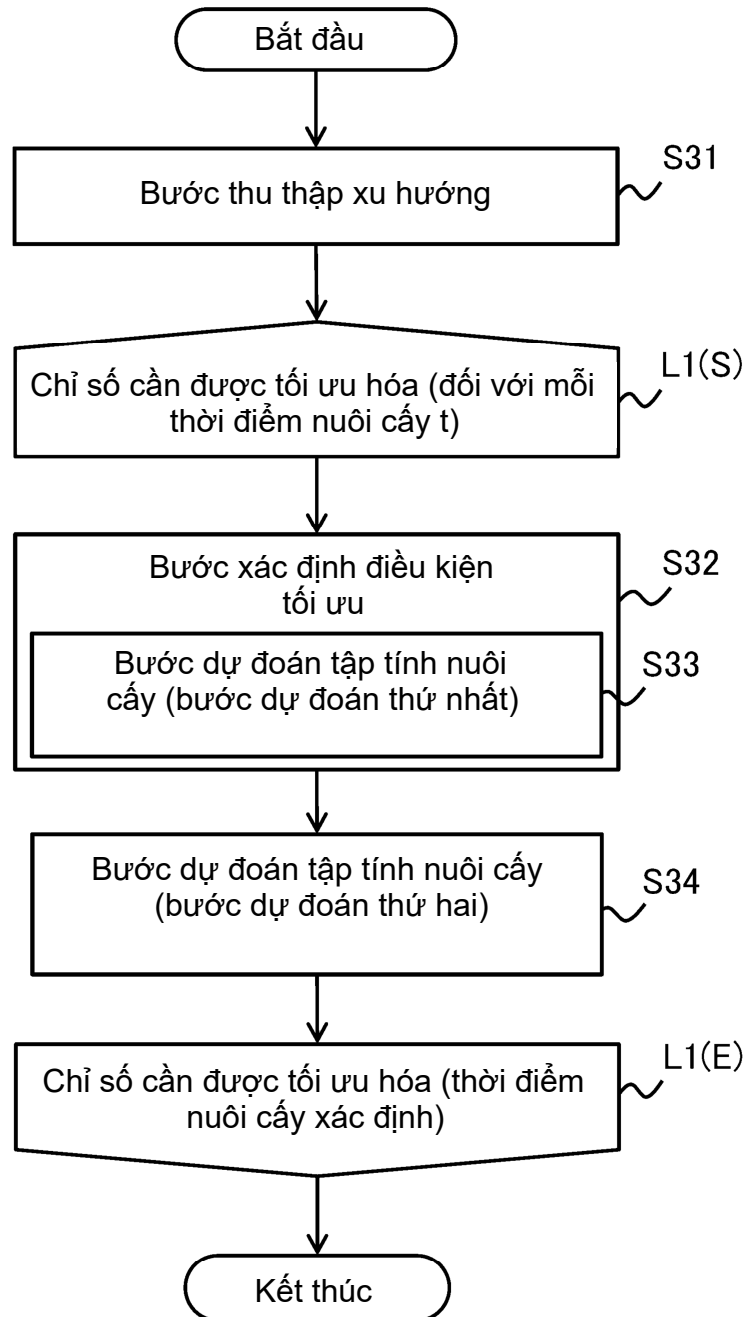


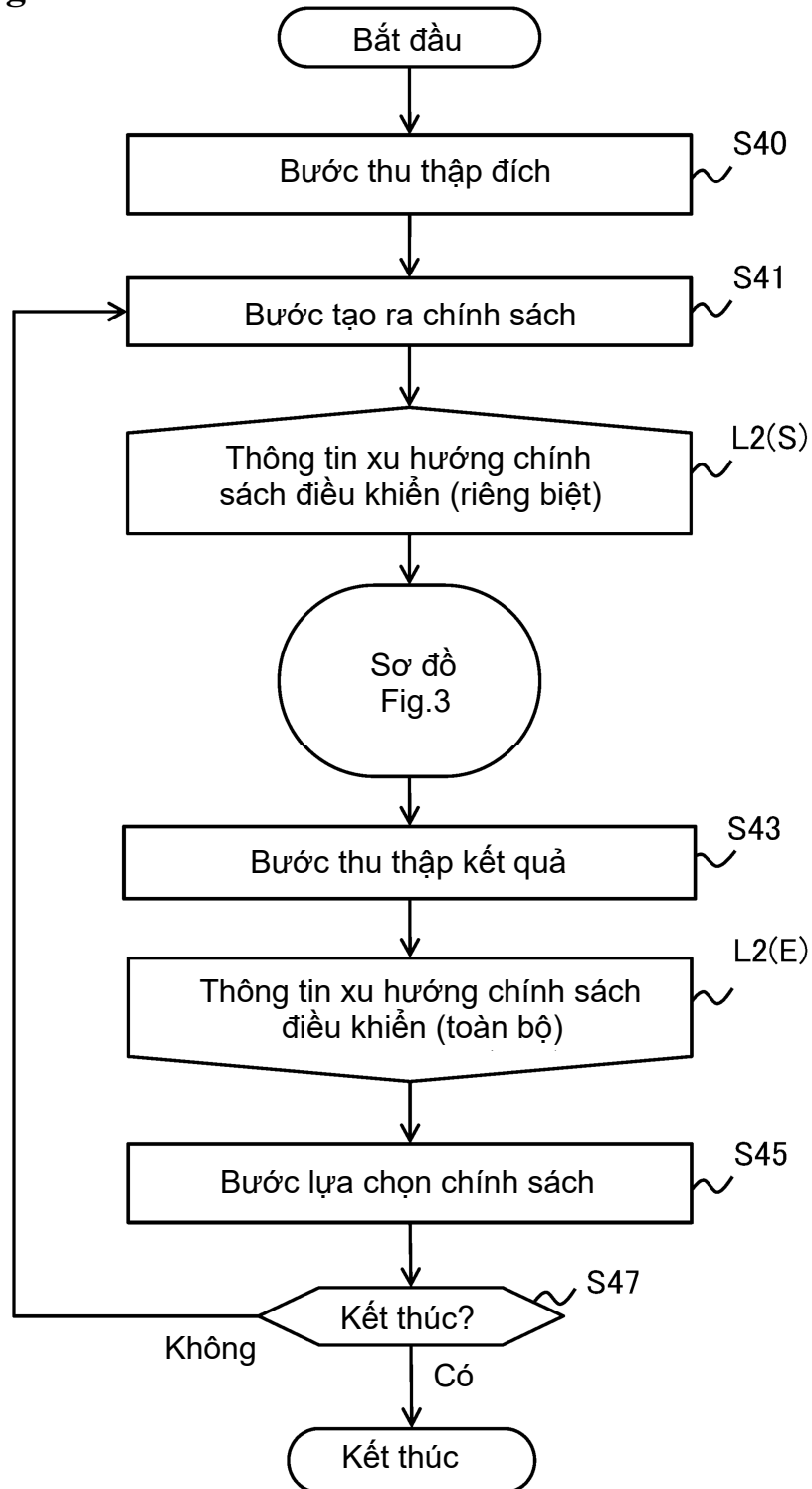
Fig.4

Fig.5

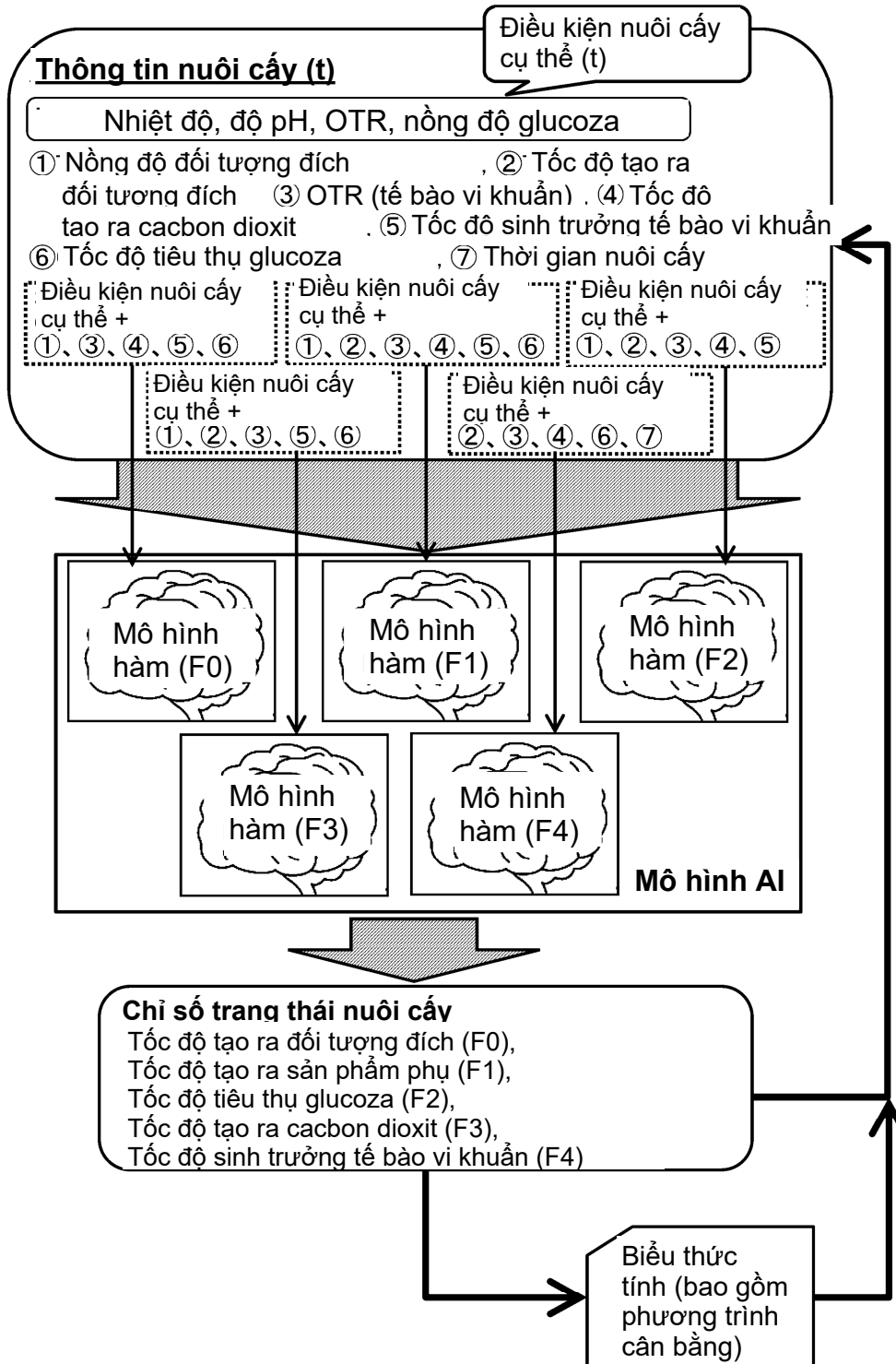


Fig.6

Thời gian (giờ)	Giá trị dự đoán	Giá trị đo
7	0,01	0,02
24	0,21	0,15
32	0,33	0,37
48	0,57	0,62
72	1,00	0,84