

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

Nguyễn Xuân Trường

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN CÁC HỆ THỐNG
MÔ PHỎNG CHĂN NUÔI CHÍNH XÁC
ĐỂ PHÁT HIỆN CẢNH BÁO LÂY LAN DỊCH BỆNH
TRÊN ĐÀN GIA SÚC

Chuyên ngành: Hệ thống thông tin

Mã: 9480104

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ
NGÀNH HỆ THỐNG THÔNG TIN

Hà Nội - 2026

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học:

- **Phó giáo sư, Tiến sĩ Phạm Mạnh Linh**
- **Tiến sĩ Bùi Quang Hưng**

Phản biện: **PGS.TS. Trần Đăng Hưng**

ĐH Công nghiệp Hà Nội

Phản biện: **PGS.TS. Trần Thị Ngân**

Trường Quốc tế, ĐHQGHN

Phản biện: **PGS.TS. Nguyễn Bá Mùi**

Học viện Nông nghiệp Việt Nam

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại Phòng 212-E3, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội. 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội vào hồi 9h 00 ngày 27 tháng 05 năm 2026.

NGHIÊN CỨU SINH

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

(cả 2 CBHD cùng ký và ghi rõ họ tên)

XÁC NHẬN CỦA ĐƠN VỊ ĐÀO TẠO

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện quốc gia Việt Nam.
- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội.

MỞ ĐẦU

Bối cảnh và động lực nghiên cứu

Trong những năm gần đây, sự phát triển mạnh mẽ của Internet vạn vật (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI) và mô hình hóa tính toán đã mở ra nhiều hướng tiếp cận mới cho quản lý các hệ thống phức hợp. Trong lĩnh vực chăn nuôi quy mô lớn, các công nghệ này đang chuyển đổi cách thức giám sát và ra quyết định từ dựa vào kinh nghiệm truyền thống sang dựa trên dữ liệu. Chăn nuôi chính xác (Precision Livestock Farming – PLF) được xem như một hệ thống thông tin, trong đó dữ liệu từ vật nuôi được thu thập, xử lý và chuyển hóa thành tri thức hỗ trợ ra quyết định. Cách tiếp cận này cho phép theo dõi thường xuyên các chỉ số sinh lý và hành vi, giúp phát hiện sớm nguy cơ dịch bệnh.

Thách thức

Mặc dù các hệ thống chăn nuôi chính xác đã đạt được nhiều tiến bộ, việc phát triển các giải pháp có khả năng phát hiện và cảnh báo sớm dịch bệnh trên đàn lợn vẫn phải đối mặt với một số thách thức đáng kể, bao gồm:

- Sự phân mảnh và không đồng nhất của dữ liệu trong hệ thống chăn nuôi chính xác là một thách thức đáng kể.
- Khó khăn trong việc ánh xạ dữ liệu quan sát sang các trạng thái dịch tễ trừu tượng cũng đặt ra thách thức lớn cho các hệ thống hiện nay.
- Thiếu các nền tảng mô phỏng có tính tổng quát và khả năng tái sử dụng cao cũng là một hạn chế phổ biến.
- Thiếu các kiến trúc hệ thống thông tin có khả năng mở rộng và thích ứng linh hoạt.
- Khả năng hỗ trợ ra quyết định và diễn giải kết quả mô phỏng còn hạn chế trong các hệ thống hiện có.
- Khoảng cách giữa các nghiên cứu học thuật và khả năng ứng dụng thực tế trong chăn nuôi lợn vẫn còn tồn tại.
- Vấn đề hiệu năng và quản lý tài nguyên tính toán cũng là một rào cản đáng kể.

Khoảng trống nghiên cứu

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về chăn nuôi chính xác và mô phỏng dịch bệnh, vẫn tồn tại một số khoảng trống đáng kể, đặc biệt từ góc độ hệ thống thông tin:

- Các mô hình mô phỏng hiện tại chưa tích hợp đầy đủ hành vi cho ăn chính xác (PFS) với mô hình đa tác tử (ABM) để dự báo dịch tả lợn Châu Phi (ASF) ở cấp độ nội bộ đàn, dẫn đến thiếu khả năng phân tích động lực học dịch bệnh.
- Thiếu mô hình lan truyền dịch bệnh giữa các trang trại phù hợp với bối cảnh chăn nuôi phân tán tại Việt Nam, đặc biệt là việc kết hợp mô hình NAADSM và mạng lưới động (STERGMs) với mô hình ABM để đánh giá các chiến lược kiểm soát.
- Các hệ thống mô phỏng chưa được triển khai phân tán trên đám mây một cách tối ưu, dẫn đến hạn chế về hiệu năng tính toán cho các kịch bản quy mô lớn.

Câu hỏi nghiên cứu

Để lấp đầy các khoảng trống trên, luận án tập trung trả lời các câu hỏi nghiên cứu chính sau:

- Câu hỏi 1: Làm thế nào để xây dựng mô hình để biểu diễn và mô phỏng hành vi sinh học của lợn ở cấp cá thể dựa trên ABM, tích hợp PFS và mô hình dịch tễ SEIR, nhằm mô phỏng lây lan dịch bệnh ASF trong nội bộ đàn lợn theo thời gian?
- Câu hỏi 2: Các mô hình lan truyền dịch bệnh giữa trang trại (dựa trên NAADSM và STERGMs) có thể được thiết kế như thế nào để đánh giá hiệu quả các chiến lược kiểm soát ở quy mô lớn?
- Câu hỏi 3: Kiến trúc hệ thống mô phỏng phân tán trên đám mây cần được triển khai ra sao để tối ưu hiệu năng và hỗ trợ cảnh báo dịch bệnh trên đàn lợn?

Mục tiêu và nội dung nghiên cứu

Mục tiêu của luận án: Luận án nhằm nghiên cứu và phát triển các hệ thống mô phỏng chăn nuôi chính xác, dựa trên mô hình đa tác tử và mô hình dịch tễ, phục vụ phát hiện và cảnh báo sự lây lan dịch bệnh trên đàn gia súc từ góc độ Hệ thống thông tin.

Nội dung nghiên cứu:

- Nội dung 1: Tập trung nghiên cứu tổng quan các công trình trong và ngoài nước liên quan đến chăn nuôi chính xác, Digital Twin trong nông nghiệp, mô hình đa tác tử, mô hình dịch tễ và các hệ thống mô phỏng trên nền tảng đám mây.
- Nội dung 2: Nghiên cứu, phân tích các phương pháp mô hình hóa hành vi vật nuôi và mô hình dịch tễ hiện có trong mô phỏng dịch bệnh. Từ đó, luận án đề xuất mô hình đa tác tử kết hợp với mô hình dịch tễ nhằm mô phỏng hành vi, trạng thái sức khỏe và quá trình lây lan dịch bệnh trong nội bộ đàn lợn.
- Nội dung 3: Dựa trên mô hình mô phỏng trong nội bộ đàn, nội dung này phân tích các cơ chế lây lan dịch bệnh ở cấp độ liên trang trại và các yếu tố trung gian ảnh hưởng đến quá trình này.
- Nội dung 4: Trước những yêu cầu về mô phỏng quy mô lớn và độ phức tạp ngày càng tăng của các mô hình được đề xuất, nội dung này tập trung phân tích các hạn chế của mô phỏng trên máy đơn lẻ.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**Phương pháp nghiên cứu****Đóng góp chính**

- Đóng góp 1: Luận án đề xuất và phát triển mô hình mô phỏng hệ thống cho ăn chính xác PFS cho đàn lợn nuôi và mô hình mô phỏng dựa trên hướng tác tử tích hợp máy trạng thái hai lớp gồm lớp hành vi và lớp bệnh lý, kết hợp với mô hình SEIR ở cấp cá thể.
- Đóng góp 2: Phát triển mô hình mô phỏng lan truyền dịch bệnh giữa các trang trại bằng cách kết hợp mô hình NAADSM, STERGMs và hàm kernel truyền nhiễm.
- Đóng góp 3: Đề xuất và triển khai kiến trúc hệ thống mô phỏng phân tán trên nền tảng điện toán đám mây.

Cấu trúc luận án

Luận án có bốn chương chính, đi kèm với phần mở đầu và kết luận. Các phần có nội dung cụ thể như sau:

- Chương 1 trình bày tổng quan các công trình nghiên cứu liên quan đến chăn nuôi chính xác, mô hình đa tác tử, mô hình dịch tễ và các hệ thống mô phỏng trên nền tảng điện toán đám mây.
- Chương 2 tập trung xây dựng mô hình mô phỏng hành vi của cá thể lợn trong đàn dựa trên phương pháp mô hình đa tác tử, kết hợp với mô hình dịch tễ nhằm mô phỏng quá trình lây lan dịch bệnh trong nội bộ đàn.
- Chương 3 mở rộng phạm vi mô phỏng từ cấp độ đàn sang cấp độ liên trang trại, trong đó mỗi trang trại được xem như một thực thể trong hệ thống.
- Chương 4 trình bày thiết kế và triển khai kiến trúc hệ thống mô phỏng phân tán trên nền tảng điện toán đám mây nhằm hỗ trợ thực thi các mô hình đa tác tử ở quy mô lớn.
- Kết luận và hướng phát triển tổng hợp các kết quả chính đạt được của luận án.

Chương 1

TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1.1 Bài toán mô phỏng chăn nuôi chính xác để cảnh báo lây lan dịch bệnh

Chăn nuôi gia súc đang phát triển theo hướng quy mô lớn, chuyên môn hóa và liên kết chuỗi cung ứng, tạo ra giá trị kinh tế đáng kể nhưng đồng thời làm gia tăng rủi ro bùng phát và lan rộng dịch bệnh do mật độ nuôi cao, luân chuyển con giống – thức ăn – phương tiện thường xuyên và sự phụ thuộc vào các mắt xích liên vùng

1.2 Cơ sở lý thuyết

Trong phần này, nghiên cứu sinh trình bày các cơ sở lý thuyết cốt lõi liên quan đến chăn nuôi chính xác, hệ thống thông tin hỗ trợ quản lý dịch bệnh, và đặc biệt nhấn mạnh vai trò của mô hình mô phỏng như một công cụ chính để tái hiện và phân tích động lực lây lan dịch bệnh.

1.2.1 Chăn nuôi thông minh và chăn nuôi chính xác

Chăn nuôi thông minh (Smart Livestock Farming – SLF) được xem là xu hướng phát triển tất yếu của ngành chăn nuôi hiện đại, hướng tới nâng cao hiệu quả sản xuất, phúc lợi vật nuôi và năng lực quản lý rủi ro thông qua việc ứng dụng các công nghệ số.

1.2.2 Mối quan hệ dữ liệu – mô hình – quyết định trong chăn nuôi chính xác

Mối quan hệ dữ liệu – mô hình – quyết định tạo thành một chu trình khép kín liên tục, trong đó dữ liệu được cập nhật thường xuyên để tinh chỉnh mô hình, và kết quả mô hình hỗ trợ ra quyết định hiệu quả hơn.

- 1.2.3 Hệ thống thông tin hỗ trợ quản lý và cảnh báo dịch bệnh
- 1.2.4 Vai trò của hệ thống thông tin trong hỗ trợ quản lý và cảnh báo
- 1.2.5 Mô hình mô phỏng đa tác tử
- 1.2.6 Mô hình dịch tễ SEIR trong mô phỏng lan truyền dịch bệnh
- 1.2.7 Mô hình lan truyền dịch bệnh NAADSM
- 1.2.8 Mô hình lan truyền dịch bệnh dựa trên mạng lưới ngẫu nhiên (Stochastic Network-Based Models)
- 1.2.9 Các công cụ hỗ trợ mô phỏng dựa trên mô hình đa tác tử
- 1.2.10 Các mô hình triển khai hệ thống phân tán
- 1.2.11 Các nền tảng điện toán đám mây hỗ trợ triển khai ứng dụng phân tán

1.3 Tổng quan nghiên cứu liên quan

Các hệ thống giám sát và cảnh báo dịch bệnh động vật ngày càng đóng vai trò thiết yếu trong bảo đảm an ninh y tế, lương thực và thương mại toàn cầu, với các nền tảng tiêu biểu cung cấp dữ liệu và hỗ trợ ra quyết định ở nhiều cấp độ.

- 1.3.1 Các hệ thống giám sát và cảnh báo dịch bệnh cho vật nuôi
- 1.3.2 Hệ thống chăn nuôi thông minh và chăn nuôi chính xác trong chăn nuôi lợn
- 1.3.3 Mô hình dựa trên ABM trong mô phỏng hành vi và Hệ thống liên quan đến Lợn
- 1.3.4 Mô hình mô phỏng lây lan dịch tả lợn Châu Phi trên đàn lợn
- 1.3.5 Các kiến trúc, mô hình mô phỏng phân tán trên đám mây
- 1.3.6 Các công nghệ Digital Twin trong chăn nuôi lợn
- 1.4 Khoảng trống nghiên cứu
- 1.5 Hướng tiếp cận của nghiên cứu
- 1.6 Kết luận chương

Chương 2

PHÁT TRIỂN CÁC MÔ HÌNH MÔ PHỎNG NỘI BẦY ĐÀN CHO ĐÀN LỢN DỰA TRÊN MÔ HÌNH ĐA TÁC TỬ: MÔ PHỎNG CHO ĂN CHÍNH XÁC VÀ LAN TRUYỀN DỊCH BỆNH

2.1 Đặt vấn đề

2.2 Tổng quan hệ thống cho ăn chính xác và nền tảng mô phỏng

2.2.1 Đặc tả hệ thống cho ăn chính xác cần mô phỏng

2.2.2 Nền tảng mô hình và ngôn ngữ mô phỏng

2.2.2.1 Nền tảng mô phỏng dựa trên tác tử

2.2.2.2 Nền tảng ứng dụng mô phỏng GAMA

2.2.2.3 Ngôn ngữ mô tả mô hình GAML

GAMA sử dụng ngôn ngữ mô hình hóa GAML (GAMA Modeling Language) – một ngôn ngữ bậc cao, trực quan và dễ sử dụng.

2.3 Mô hình tác tử cho hệ thống cho ăn chính xác

2.3.1 Tác tử và môi trường

2.3.2 Các biến tham số hóa mô hình và hàm tăng trưởng

2.3.2.1 Cân nặng của lợn

Cân nặng của lợn trong một tuần được ước lượng dựa trên biểu thức Mitscherlich (Công thức 2.1).

$$W = W_f - (W_f - W_0)e^{-kI} \quad (2.1)$$

2.3.2.2 Hệ số xác suất lợn ăn trong ngày

Tại mỗi giờ, chương trình mô phỏng sẽ tính xác suất lợn ăn tại giờ đó theo Công thức 2.2.

$$y = -0.0007x^4 + 0.0059x^3 + 0.2453x^2 + 0.0173x + 4.0051 \quad (2.2)$$

2.3.2.3 Công thức tính giá trị DFI và CFI khi lợn chịu tác nhân gây căng thẳng

Dựa trên nghiên cứu tại Nguyen-Ba và cộng sự nghiên cứu sinh sử dụng công thức 2.3 biểu diễn cách tính giá trị DFI tại thời điểm t dựa trên giá trị DFI mục tiêu, mức độ chống chịu và mức độ phục hồi.

$$\frac{d}{dt} \text{CFI}(t) = \text{DFI}_t(t) \left(1 - \text{Resistance}(t) + \text{Resilience}(t)\right) \quad (2.3)$$

2.3.2.4 Công thức tính hệ số phục hồi với một tác nhân gây hại

Hệ số phục hồi Resilience phụ thuộc vào tỉ lệ giữa giá trị CFI thực tế và giá trị CFI_t mục tiêu, và được xác định theo Công thức 2.4 như sau:

$$\text{Resilience}(t) = k_2 \times \left(1 - \frac{\text{CFI}(t)}{\text{CFI}_t(t)}\right) \quad (2.4)$$

2.3.2.5 Công thức tính xác suất lây nhiễm

Xác suất lây nhiễm được cập nhật theo Công thức 2.5.

$$P_e = 1 - \exp\left(-\beta \times \frac{I}{N}\right) \quad (2.5)$$

2.3.2.6 Công thức biểu diễn tương quan chuyển từ trạng thái Susceptible sang trạng thái Exposed

Trong mô hình nghiên cứu sinh thấy mỗi khi cá thể lợn tiếp xúc với tác nhân gây bệnh, xác suất nhiễm bệnh của lợn được tính theo Công thức 2.6.

$$P_e = 1 - \exp(-\beta) \quad (2.6)$$

2.3.2.7 Công thức tính xác suất chuyển từ trạng thái ủ bệnh sang lây nhiễm

Công thức 2.7 bổ sung tham số t_m , biểu diễn khoảng thời gian tối đa mà lợn có thể ở trong trạng thái ủ bệnh. Sau thời điểm t_m , xác suất chuyển trạng thái của lợn được gán bằng 1.

$$P_i(t) = \begin{cases} 1 - \exp(-\sigma t), & t < t_m, \\ 1, & t \geq t_m. \end{cases} \quad (2.7)$$

2.3.2.8 Công thức tính xác xuất chuyển từ trạng thái lây nhiễm sang phục hồi

Quá trình chuyển trạng thái từ giai đoạn lây nhiễm sang giai đoạn hồi phục được mô hình hóa tương tự như quá trình chuyển từ trạng thái ủ bệnh sang trạng thái lây nhiễm.

$$P_r(t) = \begin{cases} 1 - \exp(-\gamma t), & t < t_m, \\ 1, & t \geq t_m. \end{cases} \quad (2.8)$$

2.3.2.9 Công thức tính xác xuất chết ở lợn

Quá trình chuyển đổi từ trạng thái miễn dịch sang trạng thái dễ nhiễm được mô hình hóa như một biến ngẫu nhiên, với xác suất được xác định theo Công thức (2.9):

$$P(t) = \begin{cases} 1 - e^{-s \cdot t}, & t < t_m, \\ 1, & t \geq t_m, \end{cases} \quad (2.9)$$

2.3.2.10 Công thức khởi tạo DFI mục tiêu cho mô hình

Hàm DFI mục tiêu là một hàm cao nguyên tuyến tính (linear plateau), được biểu diễn trong Công thức 2.10 [?].

$$DFI_t = \begin{cases} 2 + \frac{t \times 0.5}{30}, & t < 30, \\ 2.5, & t \geq 30. \end{cases} \quad (2.10)$$

2.3.2.11 Công thức tính hệ số chống chịu và phục hồi trong trường hợp nhiều tác nhân gây hại

Trong nghiên cứu này, hệ số chống chịu và hệ số phục hồi được đề xuất biểu diễn thông qua hàm LogSumExp (LSE). Hàm LogSumExp được biểu diễn trong Công thức (2.11):

$$\text{LSE}(x_1, \dots, x_n) = \log(\exp(x_1) + \dots + \exp(x_n)), \quad (2.11)$$

2.3.2.12 Công thức tính hệ số tương quan cho đánh giá các kịch bản mô phỏng

Biểu thức toán học của hệ số tương quan Pearson được cho trong Công thức (2.12):

$$\rho_{X,Y} = \text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\mathbb{E}[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad (2.12)$$

2.3.2.13 Công thức tính hệ số tương quan cho CFI

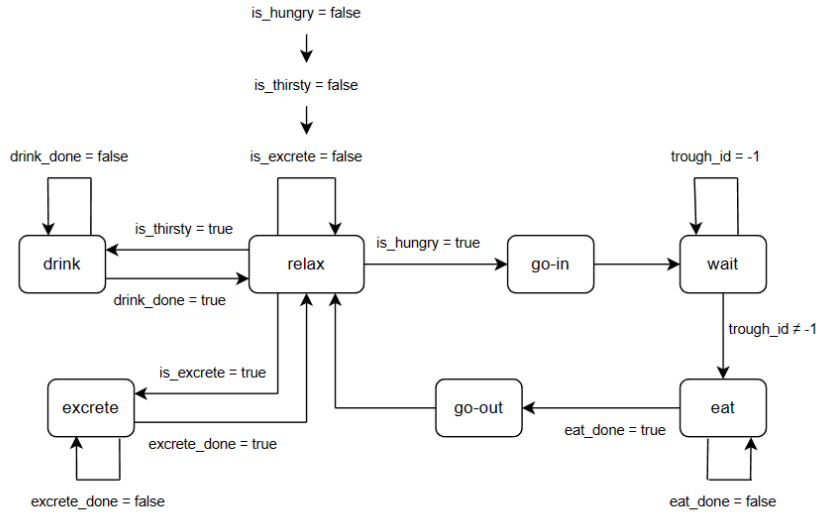
Công thức 2.13 mô tả dạng tổng quát của đa thức thu được từ hàm polyfit:

$$p(x) = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1}. \quad (2.13)$$

2.3.3 Mô hình hành vi hệ thống

Hành vi phổ biến ở lợn

Hình 2.1 là một mô hình máy trạng thái khi kết hợp toàn bộ các hành vi của lợn trong điều kiện bình thường.



Hình 2.1: Máy trạng thái tổng hợp toàn bộ hành vi.

2.3.4 Mô hình lây lan dịch bệnh nội bầy đàn

2.3.4.1 Định nghĩa nguồn bệnh và tác tử mầm bệnh

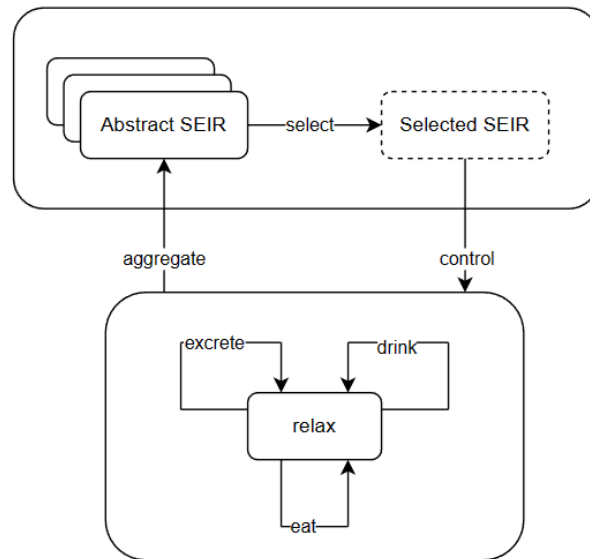
2.3.4.2 Mô hình lan truyền dịch bệnh SEIR

2.3.5 Cơ chế tích hợp mô phỏng cho ăn chính xác và SEIR

2.3.5.1 Xây dựng máy trạng thái hai lớp (Two-layer state machine)

2.3.5.2 Mở rộng mô hình với nhiều tác nhân gây bệnh

Hình 2.2 minh họa mô hình máy trạng thái hai lớp trong trường hợp lợn chịu tác động đồng thời của nhiều yếu tố gây bệnh



Hình 2.2: Mô hình máy trạng thái hai lớp với nhiều yếu tố gây bệnh.

2.4 Thực nghiệm đánh giá và Kết quả

2.4.1 Kịch bản mô phỏng

2.4.2 Tiêu chí đánh giá

2.4.3 Phương pháp thực nghiệm

2.4.4 Hệ số chống chịu và hệ số phục hồi

2.4.5 Hệ số tương quan DFI trong các kịch bản mô phỏng CC, DC, CD, DD

2.4.6 Hệ số tương quan CFI của bốn kịch bản CC, DC, CD và DD

2.4.7 Kịch bản mô phỏng dịch bệnh AFS

2.4.8 Kịch bản mô phỏng nhiều tác nhân gây bệnh

2.5 Kết luận chương

Chương này trình bày quá trình xây dựng khung mô hình mô phỏng tích hợp giữa hệ thống cho ăn chính xác và cơ chế lây lan dịch bệnh nội đàn, nhằm mô hình hóa

tác động của các tác nhân gây bệnh lên hành vi ăn và các chỉ số tăng trưởng của lợn, đồng thời mô tả động lực dịch tễ trong đàn theo thời gian.

Chương 3

PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH MÔ PHÒNG LAN TRUYỀN DỊCH BỆNH GIỮA CÁC TRANG TRẠI LỢN

Chương này trình bày quá trình phát triển mô hình mô phỏng lan truyền dịch bệnh ASF giữa các trang trại lợn, nhằm đánh giá tác động của các biện pháp phòng, chống dịch trong bối cảnh thực tiễn của Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu trong chương này được công bố tại công trình [CT2, CT6].

3.1 Đặt vấn đề

3.2 Cơ sở lý thuyết chung

Các thông số và cơ sở lý thuyết mô tả trong nội dung này sẽ sử dụng chung cho cả hai mô hình trong nghiên cứu này.

3.2.1 Phân loại quy mô

3.2.2 Xác suất truyền nhiễm

Xác suất truyền nhiễm thể hiện nguy cơ lây truyền mầm bệnh khi có sự kiện tiếp xúc giữa trang trại bị nhiễm bệnh và trang trại nhạy cảm.

3.2.3 Tỷ lệ tiếp xúc giữa các trang trại

Tỷ lệ tiếp xúc gián tiếp cao ở các trang trại lớn do hoạt động quản lý chuyên nghiệp với nhiều phương tiện và nhân lực thường xuyên.

3.3 Phương pháp đề xuất

3.3.1 Mô hình NAADSM

3.3.2 Mô hình mạng lưới động

3.3.3 So sánh và định hướng kết hợp mô hình

3.4 Xây dựng mô hình lây lan dựa trên mô hình NAADSM

3.4.1 Phát hiện và truy vết bệnh

3.4.2 Các chiến lược kiểm soát

3.4.2.1 Các biện pháp kiểm soát dịch bệnh

3.4.2.2 Logic tạo ra các tiếp xúc trực tiếp

3.4.3 Tham số dùng cho mô hình

3.4.4 Thiết kế thí nghiệm

3.5 Xây dựng mô hình lây lan dựa trên mô hình mạng lưới động

3.5.1 Mô hình mạng lưới STERGMs

Mô hình mạng lưới STERGMs là mô hình đồ thị ngẫu nhiên hàm mũ theo thời gian tách biệt, một phương pháp mô hình hóa mạng lưới động được phát triển bởi Krivitsky và Handcock vào năm 2014

3.5.2 Mô dịch tế học SI-SIR

3.5.3 Tích hợp STERGMs với mô hình dịch tế học

3.5.4 Hàm truyền nhiễm kernel

3.5.5 Bậc trung bình cơ sở

3.5.6 Lưu đồ mô hình mô phỏng

3.6 Thực nghiệm và đánh giá

3.6.1 Dữ liệu mô phỏng

3.6.2 Kết quả đánh giá độ nhạy của tham số đầu vào mô hình NAADSM qua các kịch bản

3.6.2.1 Kịch bản cơ sở

3.6.2.2 Loại bỏ tiếp xúc trực tiếp và tiếp xúc của trang trại lớn

3.6.2.3 Hạn chế di chuyển của trang trại bị nhiễm bệnh

3.6.2.4 Hạn chế di chuyển của tất cả các trang trại

3.6.2.5 Nâng cao an toàn sinh học cho các trang trại vừa và nhỏ

3.6.2.6 Tiêu hủy lợn bị nhiễm bệnh

3.6.3 Kết quả đánh giá độ nhạy của tham số đầu vào của mô hình mạng lưới qua các kịch bản

3.6.3.1 Kịch bản các mức độ kết nối

3.6.3.2 Chiến lược tiêu hủy lên trang trại nhiễm bệnh

3.6.3.3 Phân tích độ nhạy đối với các tỷ lệ tiếp xúc

3.6.3.4 Duy trì ổn định của các mối liên kết

3.6.3.5 Tác động của hàm kernel truyền nhiễm

3.7 Kết luận chương

Chương 4

XÂY DỰNG HỆ THỐNG MÔ PHỎNG PHÂN TÁN TRÊN Đám Mây PHỤC VỤ PHÁT HIỆN CẢNH BÁO DỊCH BỆNH CHO ĐÀN GIA SÚC VÀ TỐI ƯU HOÁ HIỆU NĂNG

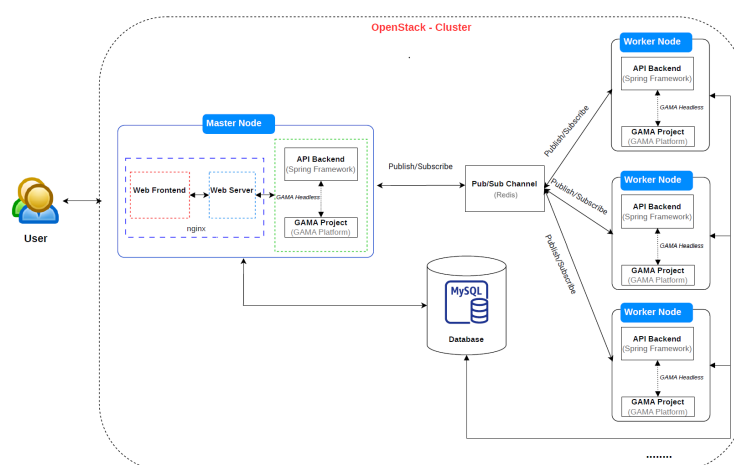
4.1 Đặt vấn đề

4.2 Hệ thống đa mô phỏng

4.3 Thiết kế mô hình phân tán

4.3.1 Mô hình triển khai mô phỏng phân tán với nhiều node trên đám mây

Nghiên cứu sinh đề xuất mô hình triển khai mô phỏng trên các Node như trong Hình 4.1.



Hình 4.1: Kiến trúc hệ thống phân tán trên đám mây.

4.3.2 Cấu trúc của từng Node

4.3.3 Cải tiến GAMA-Headless

4.3.4 Thiết kế chức năng hệ thống và Database

4.3.5 Cơ chế điều phối của hệ thống

4.4 Triển khai và kết quả

4.4.1 Triển khai thử nghiệm mô hình hệ thống phân tán trên nền tảng Cloud.

Để đánh giá hiệu suất của mô hình mô phỏng, nghiên cứu sinh triển khai hệ thống đám mây dựa trên hạ tầng điện toán đám mây OpenStack được triển khai tại Trung tâm Đại học Số, Trường Đại học Công nghệ – Đại học Quốc gia Hà Nội; nền tảng đám mây AWS; và môi trường máy tính để bàn cục bộ với cấu hình tương đương như trong Bảng 4.1.

Bảng 4.1: So sánh các nền tảng và khung mô phỏng

Nền tảng	Tài nguyên phần cứng	Khung mô phỏng
OpenStack	c4-r8g (4 CPU, 8 GB RAM)	GAMA 1.9
AWS	t3a.xlarge (4 vCPU, 16 GB RAM)	GAMA 1.9
Máy tính để bàn	Intel Core i5-1145G7 (4 nhân, 16 GB RAM)	GAMA 1.9

4.4.2 Triển khai đa mô phỏng song song trong GAMA

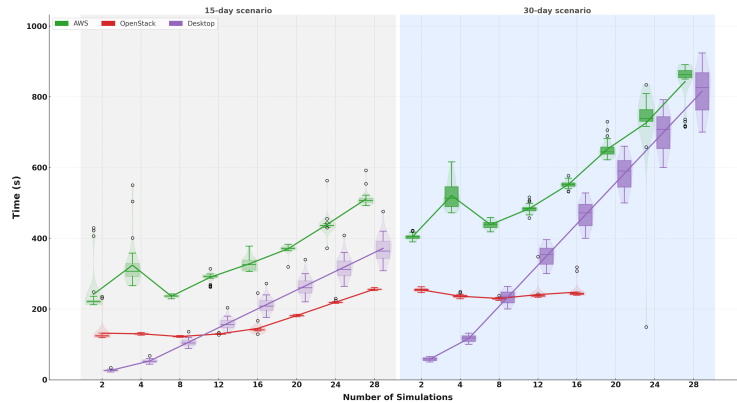
4.4.2.1 Đa mô phỏng song song độc lập giữa các mô phỏng

4.4.2.2 Đa mô phỏng song song có liên kết giữa các mô phỏng

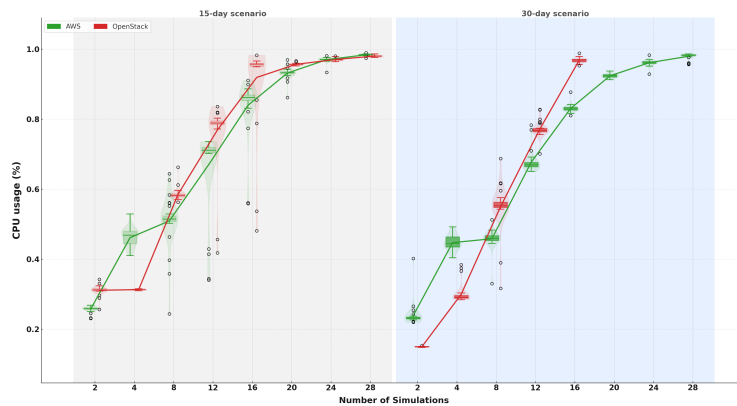
4.4.3 Phân tích và đánh giá kết quả

Kết quả thí nghiệm được tính toán, tổng hợp và phân tích thống kê bằng các chỉ số mô tả, bao gồm Q1 (tứ phân vị thứ nhất), Median (trung vị), Q3 (tứ phân vị thứ ba), IQR (khoảng tứ phân vị), Min, Max và Outliers. Các kết quả được minh họa trong Hình 4.2, Hình 4.3 và Hình 4.4 thể hiện sự biến thiên của ba chỉ số hiệu năng chính—mức tiêu thụ RAM, mức sử dụng CPU và thời gian thực thi—trên ba môi

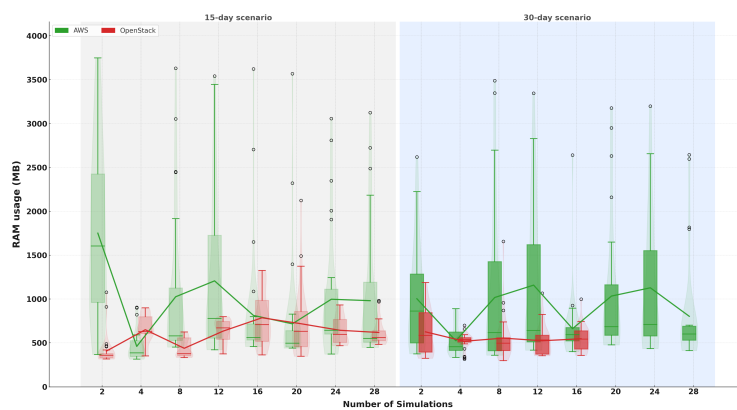
trường thực thi gồm AWS, OpenStack và Desktop, dưới hai kịch bản thời lượng mô phỏng là 15 ngày và 30 ngày.



Hình 4.2: Thời gian thực thi với các cấp độ mô phỏng.



Hình 4.3: Tài nguyên CPU sử dụng chạy mô phỏng với các cấp độ mô phỏng.



Hình 4.4: Tài nguyên RAM sử dụng chạy mô phỏng với các cấp độ mô phỏng.

4.5 Kết luận chương

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Các đóng góp chính

- Đóng góp 1: Luận án đề xuất và phát triển mô hình mô phỏng hệ thống cho ăn chính xác PFS cho đàn lợn nuôi và mô hình mô phỏng dựa trên hướng tác tử tích hợp máy trạng thái hai lớp gồm lớp hành vi và lớp bệnh lý, kết hợp với mô hình SEIR ở cấp cá thể.
- Đóng góp 2: Xây dựng mô hình mô phỏng đa tác tử mô tả sự lan truyền dịch bệnh giữa các trang trại (inter-herd transmission).
- Đóng góp 3: Đề xuất và triển khai kiến trúc hệ thống mô phỏng phân tán trên nền tảng đám mây.

Bàn luận

Hạn chế

- **Hạn chế 1:** Việc xây dựng mô hình đa tác tử (ABM) cho hệ thống cho ăn chính xác vẫn gặp phải vấn đề về độ phức tạp tính toán, đặc biệt khi xử lý với số lượng lớn tác tử.
- **Hạn chế 2:** Mô hình mô phỏng sự lây lan dịch bệnh giữa các trang trại có thể gặp khó khăn trong việc mô phỏng chính xác các yếu tố gián tiếp như vận chuyển hoặc vi phạm an toàn sinh học, do sự không đồng nhất trong dữ liệu thực tế và sự khó khăn trong việc thu thập dữ liệu đầy đủ.
- **Hạn chế 3:** Mặc dù việc sử dụng nền tảng đám mây giúp tối ưu hóa hiệu suất mô phỏng, việc quản lý dữ liệu phân tán và tính toán quy mô lớn vẫn yêu cầu các giải pháp tối ưu hóa sâu hơn để giảm thiểu chi phí tính toán và tăng tính ổn định trong quá trình thực thi mô phỏng.

Hướng phát triển

Dựa trên những hạn chế đã phân tích, một số hướng nghiên cứu tiềm năng có thể được phát triển nhằm tiếp tục nâng cao hiệu năng mô phỏng hệ thống cho ăn chính xác và sự lây lan dịch bệnh:

- **Hướng phát triển 1:** Cải thiện hiệu năng của mô phỏng bằng việc cải tiến kiến trúc phân tán trên môi trường đám mây.
- **Hướng phát triển 2:** Mở rộng mô hình mô phỏng sự lây lan dịch bệnh để tạo mô hình liên thông hai tầng từ nội bộ đàn lên quy mô các trang trại trong khu vực để đảm bảo tính nhất quán của mô phỏng.
- **Hướng phát triển 3:** Để nâng cao độ tin cậy, nghiên cứu sinh sẽ kết hợp kiểm chứng dữ liệu thực địa với việc thu thập dữ liệu thời gian thực từ cảm biến IoT và phát triển mô hình học máy dự đoán lây lan dịch bệnh.
- **Hướng phát triển 4:** Nâng cao khả năng tích hợp hệ thống giám sát thông minh vào mô phỏng, cho phép hệ thống cảnh báo sớm dịch bệnh hoạt động hiệu quả hơn, từ đó hỗ trợ quản lý đàn lợn và giảm thiểu nguy cơ dịch bệnh.

DANH MỤC

CÔNG TRÌNH KHOA HỌC

Bài báo tạp chí

[CT1] Xuan-Truong Nguyen, Linh Manh Pham and Quang Hung Bui, “A Cloud-Based Distributed System for Scalable Multi-Agent Simulation of Pig Health Monitoring Models”, *IEEE Access*, May 2026. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3702533.

[CT2] Xuan-Truong Nguyen, Linh Manh Pham and Quang Hung Bui, “Agent-based Modeling the Spread of African Swine Fever on a Regional Scale and Evaluating Its Control Measures using a Cloud-based Simulator”, *VNU Journal of Science: Computer Science and Communication Engineering*, vol. 41, no. 2, Dec. 2025, ISSN 2588–1086. DOI: 10.25073/2588-1086/vnucsce.5737.

Báo cáo khoa học hội nghị

[CT3] Xuan-Truong Nguyen, Linh Manh Pham, Nguyen Quang Thanh and Hoang-Viet Tran, “Improving the Performance of the African Swine Fever Spreading Simulation on the Cloud-Based GAMA Platform”, in *Smart City, Smart Life, Smart Education*, D. Cagáňová, N. Horňáková, M. Malindzakova, M.C.Y. Yu and J. Machado, Eds. Mobility IoT 2024, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham, 2026. DOI: 10.1007/978-3-032-10833-3_15 (SCOPUS).

[CT4] Xuan-Truong Nguyen, Linh Manh Pham and Quang Hung Bui, “Cloud-Based Multi-agent Simulation of Multiple Pathogens in Pigs Raised by the Precision Feeding System”, in *Smart City, Smart Life, Smart Education*, D. Cagáňová, N. Horňáková, M. Malindzakova, M.C.Y. Yu and J. Machado, Eds. Mobility IoT 2024, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham, 2026. DOI: 10.1007/978-3-032-10833-3_16 (SCOPUS).

[CT5] Xuan-Truong Nguyen, Linh Manh Pham and Quang Hung Bui, “Simulation of the Health Monitoring and Disease Warning System on the Pig Herd with a Cloud-based GAMA Platform”, *Proceedings of the 8th IEEE/ACIS International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science Engineering*, pp. 26–31, Ho Chi Minh City, Vietnam, Dec. 2023.

<https://doi.org/10.1109/BCD57833.2023.10466335> (SCOPUS).

[CT6] Linh Manh Pham, **Xuan-Truong Nguyen**, “A Cloud-based Multi-agent Simulation of African Swine Fever in Hanoi Region”, *Proceedings of the 8th IEEE/ACIS International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science Engineering*, pp. 52–57, Ho Chi Minh City, Vietnam, Dec. 2023.
<https://doi.org/10.1109/BCD57833.2023.10466296> (SCOPUS).

[CT7] **Xuan-Truong Nguyen** and Linh Manh Pham, “Cloud-Based Simulation of Precision Feeding System for Pig Health Management”, *Proceedings of the 13th International Conference on Application of Information Technology in Agriculture Asia-Pacific Region (APFITA)*, pp. 109–115, Hanoi, Vietnam, 2022, ISBN 978–604–9990–32–8.
<http://fat.uet.vnu.edu.vn/proceeding-of-apfita-wcca-2022-conference>.