

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT THIẾT KẾ HỆ THỐNG THÙNG RÁC THÔNG MINH TÍCH HỢP CƠ CHẾ TRUYỀN ĐỘNG HYBRID GẮN VỚI GIÁO DỤC HÀNH VI VỆ SINH TRONG MÔI TRƯỜNG HỌC ĐƯỜNG

Nguyễn Thị Tuyết
Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội

Tóm tắt: Nghiên cứu đề xuất thiết kế hệ thống thùng rác thông minh “No-Touch” nhằm giảm rào cản tâm lý tiếp xúc và nâng cao hành vi vệ sinh trong môi trường học đường. Trọng tâm là cơ chế truyền động Hybrid kết hợp mở nắp tự động bằng cảm biến hồng ngoại với bàn đạp cơ học dự phòng. Thiết kế hướng tới ba yêu cầu: hạn chế tiếp xúc trực tiếp, đảm bảo thời gian phản hồi <0,5 giây và duy trì hoạt động khi hệ thống điện tử gặp sự cố. Điểm mới của nghiên cứu là cấu trúc Hybrid giúp tăng độ bền, tính liên tục và phù hợp với môi trường tần suất sử dụng cao. Kết quả cho thấy hệ thống không chỉ cải thiện hiệu quả kỹ thuật mà còn góp phần hình thành thói quen vệ sinh, nâng cao ý thức môi trường và trách nhiệm cộng đồng cho người học.

Từ khóa: thùng rác thông minh; No-Touch; cơ chế Hybrid; cảm biến hồng ngoại; Servo MG996R; môi trường học đường; công thái học.

RESEARCH PROPOSING THE DESIGN OF A SMART WASTE BIN SYSTEM INTEGRATING A HYBRID DRIVE MECHANISM LINKED TO HYGIENE BEHAVIOR EDUCATION IN THE SCHOOL ENVIRONMENT

Abstract: This research proposes the design of a “No-Touch” smart waste bin system to reduce the psychological barrier to contact and improve hygiene behavior in school environments. The focus is on a hybrid drive mechanism combining automatic lid opening via infrared sensor with a backup mechanical pedal. The design aims to meet three requirements: minimizing direct contact, ensuring a response time of <0.5 seconds, and maintaining operation even when the electronic system fails. The novelty of this research lies in its hybrid structure, which enhances durability, continuity, and suitability for high-frequency use environments. The results show that the system not only improves technical efficiency but also contributes to the formation of hygiene habits, raising environmental awareness and community responsibility among learners.

Keywords: smart trash can; No-Touch; hybrid mechanism; infrared sensor; Servo MG996R; school environment; ergonomics.

Nhận bài: 20/04/2026

Phản biện: 20/05/2026

Duyệt đăng: 25/05/2026

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các môi trường công cộng như trường học, bệnh viện, căn tin, hành lang lớp học, trung tâm thương mại hoặc khu vực chờ, thùng rác là thiết bị vệ sinh được sử dụng với tần suất cao. Tuy nhiên, thùng rác truyền thống thường yêu cầu người dùng mở nắp bằng tay hoặc sử dụng cơ cấu đạp chân. Việc phải chạm vào bề mặt có khả năng nhiễm bẩn dễ tạo ra tâm lý e ngại, làm tăng xu hướng né tránh thiết bị, ném rác từ xa hoặc đặt rác lên nắp thùng đang đóng.

Sau đại dịch COVID-19, nhận thức của cộng đồng về nguy cơ lây nhiễm chéo qua các bề mặt dùng chung tăng lên rõ rệt. Một bộ phận người dùng hình thành hội chứng “sợ tiếp xúc” (Contact Phobia), khiến họ có xu hướng từ chối chạm vào các thiết bị công cộng. Vì vậy, nhu cầu về thiết bị vệ sinh không chạm không chỉ là nhu cầu tiện ích mà còn gắn với yêu cầu an toàn sinh học. Tuy nhiên, nhiều thùng rác tự động hiện có vẫn gặp các hạn chế về độ bền, độ ổn định cảm biến, khả năng chịu ẩm và tính liên tục khi hết pin hoặc hỏng mạch. Trong môi trường sử dụng liên tục,

một thiết bị chỉ dựa vào điện tử có thể trở nên vô dụng khi mất nguồn, trong khi một thiết bị chỉ dựa vào cơ khí lại không giải quyết triệt để rào cản tiếp xúc.

Từ thực tiễn đó, bài báo lựa chọn đề xuất thiết kế hệ thống thùng rác thông minh tích hợp cơ chế truyền động Hybrid ứng dụng trong môi trường công cộng nhằm xóa bỏ tâm lý ngại tiếp của người dùng. Trọng tâm của đề tài không chỉ là “mở nắp tự động”, mà còn xây dựng một cấu trúc cơ điện tử có khả năng vận hành bền bỉ, có dự phòng cơ học, dễ bảo trì và phù hợp với môi trường công cộng có tần suất sử dụng cao.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: cơ chế truyền động Hybrid trong hệ thống thùng rác thông minh, bao gồm cơ cấu điện tử tự động, cơ cấu cơ học dự phòng và các giải pháp kỹ thuật, linh kiện tự động hóa (cảm biến tiệm cận hồng ngoại chủ động, vi điều khiển Arduino Uno/ESP32, Servo MG996R, thanh trượt có rãnh, bàn đạp cơ học, đèn LED

RGB, vật liệu PP/ABS và lớp phủ Nano Bạc) và ứng dụng giải pháp kỹ thuật vào thiết bị thùng rác.

- Khách thể khảo sát: Học viên, sinh viên trong môi trường học đường; dữ liệu khảo sát hiện đề tài tập trung vào nhóm sinh viên 18-25 tuổi, khu vực trường học tại Đại học Bách khoa Hà Nội.

- Phạm vi ứng dụng: khuôn viên trường học, căng tin, hành lang lớp học và các không gian công cộng có mật độ sử dụng lớn.

2.2. Cơ sở lý thuyết và cơ sở công nghệ

Thiết bị phải nhanh, bền, an toàn và không gián đoạn → cần cơ chế Hybrid có dự phòng.

Cảm biến hồng ngoại chủ động được chọn do chính xác, phản hồi nhanh; kết hợp servo để điều khiển nắp.

Cơ chế Hybrid gồm: tự động (cảm biến—servo) + dự phòng (bàn đạp), hoạt động độc lập nhờ thanh trượt.

Thiết kế hướng tới giảm tiếp xúc, phù hợp tâm lý người dùng nơi công cộng.

Công cụ và vật tư nghiên cứu: Hệ thống sử dụng Arduino Uno hoặc ESP32 làm bộ xử lý trung tâm; cảm biến tiệm cận hồng ngoại chủ động để nhận diện thao tác bỏ rác; Servo MG996R kết hợp thanh trượt có rãnh để điều khiển nắp; bàn đạp cơ học làm cơ cấu dự phòng; hộp bảo vệ IP65, silica gel và vật liệu PP/ABS phủ Nano Bạc nhằm tăng độ bền và an toàn vệ sinh.

2.3. Thiết kế kỹ thuật hệ thống thùng rác thông minh hybrid

2.3.1. Yêu cầu thiết kế

Từ mục tiêu vận hành tại nơi có tần suất cao, hệ thống được thiết kế theo các yêu cầu sau:

- Không yêu cầu người dùng chạm tay vào nắp thùng rác.
- Thời gian phản hồi của cơ cấu mở nắp dưới 0,5 giây để tránh cảm giác chờ đợi.
- Nhận diện chính xác khi tay hoặc rác đi vào vùng 15-20 cm; hạn chế mở nắp sai khi có người đi ngang.
- Mở nắp khoảng 90 độ để thao tác bỏ rác thuận tiện.
- Có cơ cấu dự phòng cơ học, bảo đảm vẫn sử dụng được khi mất điện, hết pin, lỗi cảm biến hoặc bảo trì mạch.
- Chống ẩm, chống bụi, hạn chế oxy hóa chân linh kiện trong môi trường có rác hữu cơ.
- Dễ vệ sinh, dễ thay pin, dễ tháo lắp và có chỉ dẫn trực quan cho người dùng.

2.3.2. Cấu trúc tổng thể của hệ thống

Hệ thống gồm sáu khối chức năng chính: khối nhận diện, khối xử lý trung tâm, khối truyền động điện tử, khối truyền động cơ học dự phòng, khối bảo vệ - nguồn điện và khối tương tác người dùng. Các khối này được tổ chức để ưu tiên vận hành tự động nhưng không loại bỏ cơ cấu cơ khí truyền thống. Nhờ vậy, thiết bị có thể đạt tính tiện lợi của hệ thống No-Touch và độ tin cậy của bàn đạp cơ học.

Khối chức năng	Thành phần chính	Vai trò kỹ thuật
Nhận diện	Cảm biến Active IR	Phát hiện tay hoặc rác ở vùng 15-20 cm; giảm mở nắp sai trong không gian hẹp.
Xử lý	Arduino Uno/ESP32	Đọc tín hiệu cảm biến, điều khiển servo, LED và thuật toán tiết kiệm năng lượng.
Truyền động tự động	Servo MG996R, thanh trượt có rãnh, bản lề nắp	Biến tín hiệu điện thành chuyển động mở/đóng nắp khoảng 90 độ.
Dự phòng cơ học	Bàn đạp chân, liên kết cơ khí	Duy trì hoạt động khi mất nguồn hoặc lỗi điện tử.
Bảo vệ	Hộp IP65, silica gel, dây nguồn, pin	Chống ẩm, giảm oxy hóa và đoản mạch.
Tương tác	LED RGB, nhãn mũi tên, ký hiệu trạng thái	Hỗ trợ người dùng nhận biết trạng thái sẵn sàng, thùng đầy hoặc cần bảo trì.

Bảng 1. Cấu trúc tổng thể của hệ thống

2.3.3. Nguyên lý hoạt động của cơ chế truyền động Hybrid

Cơ chế Hybrid là điểm mới kỹ thuật của đề tài. Hệ thống có hai chế độ vận hành độc lập nhưng cùng tác động lên nắp thùng: Chế độ tự động. Khi người dùng đưa tay hoặc rác vào vùng nhận

diện, cảm biến hồng ngoại chủ động gửi tín hiệu về vi điều khiển. Vi điều khiển kích hoạt Servo MG996R quay theo góc đã lập trình. Chuyển động quay của servo được truyền qua thanh trượt có rãnh để nâng nắp thùng lên khoảng 90 độ. Sau một khoảng thời gian giữ mở, servo đưa nắp về

vị trí đóng. Khi nắp đã đóng, lệnh servo.detach được sử dụng để ngắt dòng qua cuộn dây servo, từ đó tiết kiệm pin và giảm nóng động cơ. Công cụ Mới (Cảm biến No-Touch): Cảm biến hồng ngoại mang lại thao tác rảnh tay tuyệt đối, giảm thiểu lây nhiễm chéo. Tuy nhiên, linh kiện điện tử phụ thuộc vào nguồn điện và có tỷ lệ hỏng hóc nhất định trong môi trường độ ẩm cao. Điểm đột phá của thiết bị không nằm ở việc loại bỏ hoàn toàn cái cũ, mà là sự dung hợp chiến lược. Chế độ dự phòng. Khi hệ thống điện tử hết pin, cảm biến bị lỗi hoặc mạch đang bảo trì, người dùng vẫn có thể đập bàn đập cơ học. Lực từ bàn đập truyền đến nắp thùng để mở nắp. Nắp thùng bật lên nhờ lực vật lý, chốt trượt sẽ chạy tự do trong rãnh hờ của thanh nối mà không làm gãy bánh răng của Servo đang đứng yên. Cấu trúc này đảm bảo tính vận hành liên tục. Trong quá trình đó, chốt liên kết của thanh trượt di chuyển tự do trong rãnh hờ, không ép servo quay cưỡng bức và không làm hỏng bánh răng. Cơ chế này giúp hệ thống duy trì khả năng sử dụng ngay cả khi lớp tự động ngừng hoạt động.

2.3.4. Lựa chọn cảm biến hồng ngoại chủ động

Trong thiết bị vệ sinh tự động, việc lựa chọn loại cảm biến quyết định tính hiệu quả. Phân tích so sánh cho thấy: Cảm biến hồng ngoại chủ động (Active IR): Phát ra tia hồng ngoại từ đèn LED/Laser và thu nhận tia phản xạ. Rất đáng tin cậy, chi phí thấp, và đặc biệt xuất sắc trong việc phát hiện vật thể mờ đục (tay người, túi rác) ở cự ly gần. Cảm biến siêu âm (Ultrasonic): Dùng sóng âm, quét được vật trong suốt nhưng chùm sóng quá rộng dễ gây mở nắp sai lệch (false positive) trong không gian hẹp. Cảm biến hồng ngoại thụ động (PIR): Chỉ nhận diện bức xạ nhiệt cơ thể, không nhận diện được các túi rác cách nhiệt. Bên cạnh đó, hệ thống truyền động vật lý đòi hỏi việc sử dụng các động cơ servo hoặc động cơ bước có khả năng kiểm soát góc quay chính xác để thực hiện thao tác đóng/mở nắp thay cho lực vật lý của con người.

Đề tài ưu tiên cảm biến hồng ngoại chủ động thay vì cảm biến siêu âm vì yêu cầu sử dụng nằm ngay tại miệng thùng rác và trong không gian hẹp. Cảm biến IR có chùm tia hẹp, nhận diện tốt tay người hoặc túi rác ở khoảng cách gần 15-20 cm, phản hồi nhanh và ít bị kích hoạt bởi người đi ngang qua. Trong khi đó, cảm biến siêu âm phát sóng dạng hình nón rộng, phù hợp hơn với đo mức rác bên trong thùng hoặc các ứng dụng cần khoảng cách xa, nhưng dễ gây mở nắp sai nếu đặt

ở khu vực đông người. Nghiên cứu đã chọn cảm biến hồng ngoại chủ động (Active IR) kết hợp vì điều khiển để tối ưu tốc độ và độ chính xác.

So với cảm biến siêu âm, cảm biến hồng ngoại chủ động phù hợp hơn với thiết kế đặt tại miệng thùng rác do có vùng nhận diện hẹp, phản hồi nhanh và hạn chế mở nắp sai trong không gian đông người. Cảm biến siêu âm có ưu thế trong đo khoảng cách hoặc đo mức rác bên trong thùng, nhưng dễ phát sinh kích hoạt nhầm khi sử dụng ở hành lang, căn tin hoặc khu vực có mật độ di chuyển cao.

2.3.5. Lựa chọn động cơ và cơ cấu truyền lực

Bộ xử lý trung tâm (Vi điều khiển): Bộ mạch Arduino Uno được sử dụng làm bộ não của hệ thống. Arduino có khả năng xử lý tín hiệu theo thời gian thực (real-time) với độ ổn định cao và dễ dàng tùy biến mã nguồn.

Cơ cấu chấp hành (Động cơ): Đề tài sử dụng Động cơ Servo MG996R. Khác với các motor nhựa rẻ tiền, động cơ Servo MG996R được lựa chọn vì có bánh răng kim loại, mô-men xoắn khoảng 11 kg/cm, phù hợp với yêu cầu nâng nắp thùng và chịu tác động lặp lại trong môi trường học đường. Việc dùng servo giúp kiểm soát góc mở chính xác, thuận lợi cho việc lập trình góc mở khoảng 90 độ. Tuy nhiên, servo có thể bị hỏng nếu bị ép quay ngược khi đang đứng yên. Vì vậy, thanh trượt có rãnh là chi tiết bảo vệ quan trọng: khi cơ cấu bàn đập hoạt động, rãnh trượt cho phép chuyển động cơ học tách khỏi trục servo, tránh truyền lực cưỡng bức vào bánh răng.

Module nhận diện: Cảm biến tiệm cận hồng ngoại chủ động (Active IR Sensor). Lý do sử dụng Cảm biến Hồng ngoại (IR) thay vì Siêu âm (Ultrasonic). Đề tài ưu tiên Cảm biến IR vì các ưu điểm kỹ thuật vượt trội: Độ chính xác trong không gian hẹp: Cảm biến siêu âm phát sóng âm theo hình nón rộng, dễ bị nhiễu và gây ra tình trạng mở nắp sai lệch (false positive) khi có vật chỉ tình cờ di chuyển ngang qua. Cảm biến hồng ngoại phát tia sáng theo chùm hẹp thẳng, chỉ nhận diện chính xác khi có bàn tay hoặc rác đưa trực tiếp vào vùng miệng thùng (15-20 cm). Độ trễ (Latency) siêu thấp: Tín hiệu ánh sáng của IR giúp Arduino phản hồi lập tức. Thời gian mở nắp đạt dưới 0,5 giây (<0,5s), triệt tiêu cảm giác phải chờ đợi của người dùng.

2.3.6. Thuật toán điều khiển và tối ưu năng lượng

Thuật toán điều khiển được thiết kế theo nguyên tắc đơn giản, ổn định và tiết kiệm năng lượng. Hệ thống ưu tiên phản hồi nhanh, chống

kích hoạt liên tục và ngắt servo khi không cần giữ lực. Mã điều khiển có thể triển khai theo logic sau:

- Khởi tạo cảm biến IR, LED RGB và servo ở trạng thái chờ.
- Khi cảm biến phát hiện tay hoặc rác trong vùng 15-20 cm, vi điều khiển bật LED báo mở và kích hoạt servo.attach.
- Servo quay đến góc mở nắp khoảng 90 độ; nắp được giữ mở trong khoảng thời gian cài đặt.
- Servo quay về vị trí đóng; sau khi đóng nắp, hệ thống gọi servo.detach để ngắt dòng và tiết kiệm pin.
- Khi không có tín hiệu, hệ thống duy trì trạng thái chờ và LED báo sẵn sàng.

Trong thực tế, thuật toán cần bổ sung chống nhiễu tín hiệu, chống mở/đóng liên tục khi người dùng giữ tay quá lâu trước cảm biến, giới hạn số lần kích hoạt trong một khoảng thời gian ngắn và cảnh báo khi pin yếu hoặc thùng đầy.

2.3.7. Giải pháp bảo vệ mạch và tăng độ bền

Môi trường rác hữu cơ thường có hơi ẩm, mùi, bụi, khí ăn mòn và nguy cơ nước bắn. Do đó, vi điều khiển, module nguồn và pin cần đặt trong hộp bảo vệ tiêu chuẩn IP65. Bên trong hộp bố trí túi hạt hút ẩm silica gel để giảm hơi nước và hạn chế oxy hóa chân linh kiện. Với phiên bản triển khai dài hạn, nên phủ lớp conformal coating hoặc keo epoxy cho bo mạch, bố trí dây điện có đầu nối chống tuột và thiết kế nắp hộp kỹ thuật để nhân viên bảo trì thay pin, vệ sinh cảm biến nhanh.

2.3.8. Vật liệu kháng khuẩn và công thái học

Đề tài định hướng sử dụng vật liệu PP/ABS hoặc sơn nhũ tương tích hợp Nano Bạc (AgNPs)

nhằm tăng an toàn sinh học cho bề mặt thiết bị và ứng dụng công nghệ tổng hợp xanh các hạt nano bạc. AgNPs được tổng hợp bằng chất hoạt động bề mặt sinh học ở nhiệt độ 65°C trong 1 giờ, đạt kích thước đồng nhất $62 \pm 2,8$ nm và hấp thụ quang phổ UV-Vis ở đỉnh ~ 420 nm. Tạo vòng kháng khuẩn 12 mm ở nồng độ 80 ppm đối với Staphylococcus aureus và có hiệu suất kháng khuẩn trên 99,9%. Trong thiết kế thùng rác, vật liệu này được xem là lớp bảo vệ bổ sung, không thay thế cho việc vệ sinh định kỳ.

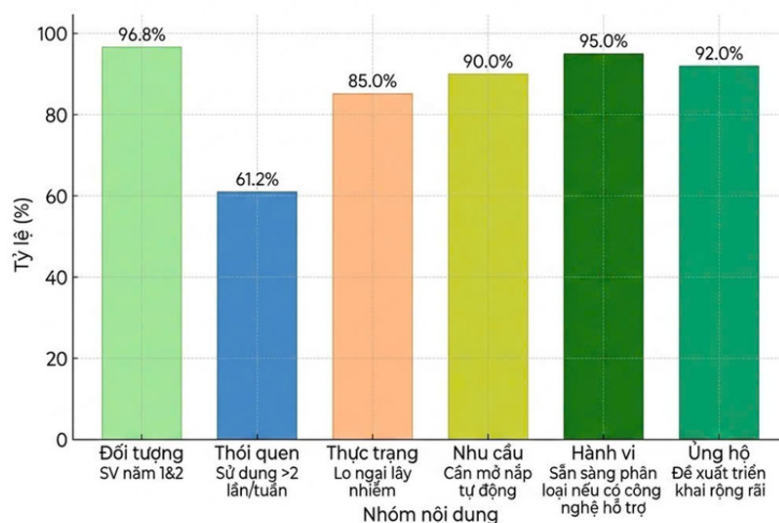
Nghệ thuật Chỉ dẫn thị giác (Visual Cues), thùng rác được trang bị dải đèn LED (RGB) để giao tiếp phi ngôn ngữ. Màu xanh báo hiệu trạng thái sẵn sàng, màu đỏ cảnh báo nắp đóng hoặc thùng đầy. Kết hợp với các nhãn dán mũi tên định hướng, thiết bị kích hoạt phản xạ vô điều kiện, giúp người dùng dễ dàng làm quen với công nghệ mới mà không cần hướng dẫn.

Về công thái học, chiều cao tham chiếu của thùng rác loại 60L khoảng 640 mm, phù hợp để người dùng bỏ rác trong tư thế đứng tự nhiên. Cảm biến nên đặt ở góc nghiêng khoảng 15-45 độ để thao tác lướt tay thuận tiện, giảm nhu cầu cúi gập người hoặc chạm vào nắp thùng, giải tỏa hoàn toàn áp lực lên hệ cơ xương khớp vùng thắt lưng.

2.4. Kết quả khảo sát, đánh giá và bàn luận

2.4.1. Kết quả khảo sát nhu cầu người dùng

Khảo sát được thực hiện trên 62 sinh viên tại Đại học Bách khoa Hà Nội nhằm xác định nhu cầu và rào cản khi sử dụng thùng rác công cộng. Kết quả cho thấy nhu cầu đối với thùng rác thông minh No-Touch khá rõ rệt. Cụ thể như sau:



Biểu đồ 1. Cơ sở dữ liệu khảo sát và nhu cầu người dùng

Số liệu 85% người dùng e ngại tiếp xúc với nắp thùng rác cho thấy rào cản tiếp xúc và ảnh hưởng trực tiếp tới hành vi sử dụng thiết bị vệ sinh. Tỷ lệ 90% đánh giá mở nắp tự động là cần thiết chứng minh tính hợp lý của giải pháp No-Touch, trong khi 92% ủng hộ triển khai rộng rãi cho thấy tiềm năng ứng dụng ở cấp trường học.

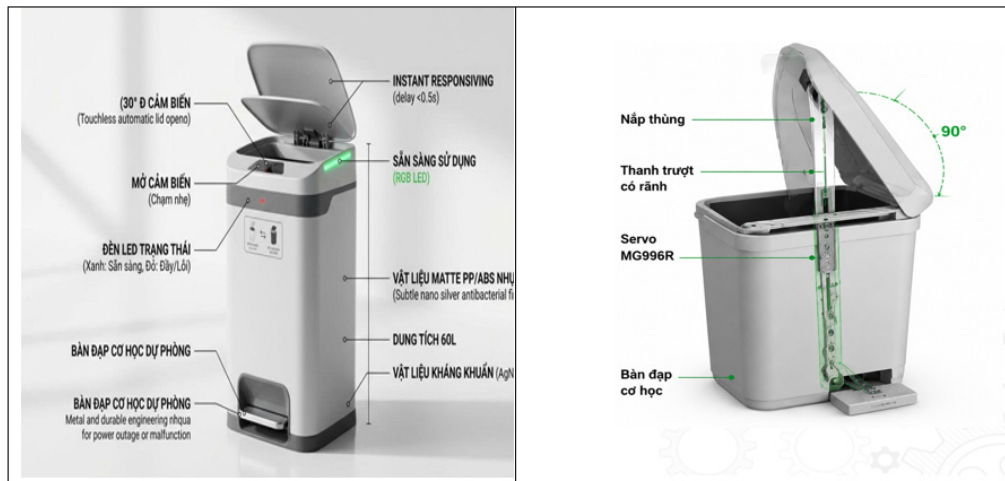
2.4.2. *Đánh giá kỹ thuật của hệ thống*

Các chỉ số kỹ thuật của mô hình được đánh giá theo bốn nhóm: tốc độ phản hồi, độ chính xác

kích hoạt, tính liên tục vận hành và độ bền trong môi trường ẩm. Hệ thống đạt mục tiêu phản hồi dưới 0,5 giây nhờ cảm biến IR và vi điều khiển xử lý tín hiệu nhanh. Vùng nhận diện 15-20 cm giúp giảm mở nắp sai trong không gian hẹp. Cơ chế bàn đạp cơ học dự phòng đảm bảo thiết bị vẫn hoạt động khi mất nguồn hoặc hỏng mạch. Hộp IP65, silica gel và thuật toán ngắt servo sau khi đóng nắp giúp giảm rủi ro nóng động cơ, hao pin và đoản mạch.

Tiêu chí nghiệm thu	Yêu cầu/Thông số	Ý nghĩa đối với vận hành tần suất cao
Tốc độ mở nắp	< 0,5 giây	Giảm thời gian chờ, tăng trải nghiệm sử dụng.
Khoảng cách nhận diện	15-20 cm	Nhận diện đúng thao tác bỏ rác, hạn chế mở nắp sai.
Góc mở nắp	Khoảng 90 độ	Đủ không gian bỏ rác, hạn chế rơi vãi.
Truyền động	Servo MG996R, 11 kg.cm, bánh răng kim loại	Chịu tải nắp thùng và va chạm lặp lại tốt hơn servo nhựa.
Chế độ dự phòng	Bàn đạp cơ học và thanh trượt có rãnh	Không gián đoạn sử dụng khi mất điện, hết pin hoặc lỗi cảm biến.
Bảo vệ mạch	Hộp IP65, silica gel	Giảm ẩm, oxy hóa và đoản mạch.
Tiết kiệm năng lượng	servo.detach() sau khi đóng nắp	Giảm tiêu thụ pin, giảm nóng servo.
Chỉ dẫn người dùng	LED RGB, nhãn mũi tên	Tăng tương tác, giảm lúng túng khi sử dụng.

Bảng 2. Bộ tiêu chí nghiệm thu kỹ thuật đề xuất



Hình 2. Mô tả hình ảnh sản phẩm dự kiến

2.4.3. *Hiệu quả hành vi và giá trị giáo dục*

Không chỉ dừng ở chức năng kỹ thuật, hệ thống thùng rác No-Touch còn mang lại giá trị giáo dục rõ rệt. Việc loại bỏ thao tác tiếp xúc giúp giảm rào cản tâm lý, từ đó tăng tỷ lệ người dùng sẵn sàng bỏ rác đúng nơi quy định.

Quan trọng hơn, thiết bị góp phần hình thành:

- Thói quen vệ sinh văn minh
- Ý thức trách nhiệm với không gian chung
- Nhận thức về an toàn sinh học

Kết quả khảo sát cho thấy 85% sinh viên có động lực bỏ rác đúng nơi quy định và 92% cảm thấy an toàn hơn khi sử dụng. Điều này chứng minh thiết bị không chỉ là một sản phẩm kỹ thuật mà còn là công cụ giáo dục hành vi hiệu quả trong môi trường học đường.

2.4.4. *Đề xuất quy trình bảo trì*

Quy trình bảo trì cần được thực hiện theo chu kỳ: hằng ngày lau bề mặt nắp, miệng thùng và vùng cảm biến; hằng tuần kiểm tra cơ cấu tự động

và bàn đạp cơ học; hằng tháng kiểm tra pin, silica gel, dây nối và hộp IP65; định kỳ bôi trơn bản lề, kiểm tra thanh trượt và siết lại các liên kết cơ khí. Khi nâng cấp, có thể phủ conformal coating cho bo mạch và thay cảm biến có vỏ che sáng để tăng độ bền vận hành.

III. KẾT LUẬN

Đề tài đã đề xuất một hướng thiết kế thùng rác thông minh đặt trọng tâm vào cơ chế truyền động Hybrid và độ bền vận hành tại môi trường công cộng tần suất cao. So với thùng rác tự động thuần điện tử, giải pháp Hybrid có ưu điểm nổi bật là duy trì hoạt động liên tục nhờ bàn đạp cơ học dự phòng, đồng thời vẫn bảo đảm trải nghiệm không chạm thông qua cảm biến hồng ngoại và cơ cấu servo. Cấu trúc thanh trượt có rãnh là chi tiết quan trọng giúp hai chế độ tự động và cơ học phối hợp mà không gây hỏng bánh răng servo.

Về mặt kỹ thuật, hệ thống sử dụng các linh kiện phổ biến như Arduino Uno/ESP32, cảm biến

Active IR, Servo MG996R, LED RGB, hộp bảo vệ IP65 và vật liệu PP/ABS phủ Nano Bạc. Các thông số như thời gian phản hồi dưới 0,5 giây, vùng nhận diện 15-20 cm, góc mở nắp khoảng 90 độ, chiều cao tham chiếu 640 mm và góc bố trí cảm biến 15-45 độ cho thấy thiết kế có tính khả thi và phù hợp với thao tác tự nhiên của người dùng.

Về mặt ứng dụng, khảo sát người dùng cho thấy nhu cầu về thiết bị No-Touch là rõ ràng: 85% người dùng e ngại tiếp xúc với nắp thùng rác, 90% đánh giá mở nắp tự động là cần thiết và 92% ủng hộ triển khai rộng rãi trong trường học. Như vậy, đề tài không chỉ tạo ra một giải pháp kỹ thuật mà còn góp phần xây dựng hành vi vệ sinh văn minh, giảm rác vương vãi và hỗ trợ kiểm soát lây nhiễm chéo. Hướng nghiên cứu tiếp theo tập trung vào thử nghiệm độ bền dài hạn, chuẩn hóa quy trình bảo trì, tích hợp IoT cảnh báo thùng đầy và hoàn thiện thiết kế để chuyển giao trong môi trường giáo dục, y tế và công cộng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- T.Frey, "Contact Phobia – The growing fear of human touch and our shift towards a contactless world," 30 4 2020. [Online]. Available: <https://futuristspeaker.com/future-trends/contactphobia-the-growing-fear-of-human-touch-and-our-shifftowards-a-contactless-world/>.
- K.Nguyễn, "Hội chứng sợ bẩn (Mysophobia) là gì: nguyên nhân, triệu chứng và cách khắc phục," [Online]. Available: <https://askany.com/blog/hoi-chung-so-ban>.
- P.Intiadi, G.Sihaloho, A.F.D.Prasetyo, B.Wibowo, "Development of an IoT-Based Smart Waste Bin with Automated Operation and Capacity Monitoring," 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.sultanpublisher.com/index.php/ijsecs/article/download/379/339/3688>.
- N.M.Cường, "Tổng hợp kích thước thùng rác công cộng phổ biến năm 2026," 1 20 2025. [Online]. Available: <https://compositehoalam.com/kich-thuocthung-rac-cong-cong/>.