**Giới thiệu hai bộ dữ liệu tiếng Việt để đánh giá các mô hình ngữ nghĩa về (Không) giống nhau và liên quan**

**Tóm tắt**

Chúng tôi trình bày hai bộ dữ liệu mới cho tiếng Việt, một ngôn ngữ có ít tài nguyên, để đánh giá các mô hình về sự tương đồng ngữ nghĩa: ViCon bao gồm các cặp từ đồng nghĩa và trái nghĩa trên các lớp từ, do đó cung cấp dữ liệu để phân biệt giữa sự tương đồng và không tương đồng. ViSim-400 cung cấp mức độ tương đồng trên năm quan hệ ngữ nghĩa, được đánh giá bởi người. Hai bộ dữ liệu này được xác minh thông qua các mô hình đồng xuất hiện tiêu chuẩn và mạng nơ-ron, cho thấy kết quả tương đương với các bộ dữ liệu tiếng Anh tương ứng.

**1. Giới thiệu**

Các mô hình tính toán phân biệt giữa sự tương đồng ngữ nghĩa và sự liên quan ngữ nghĩa (Budanitsky and Hirst, 2006) rất quan trọng đối với nhiều ứng dụng NLP, chẳng hạn như tạo tự động từ điển, từ vựng và bản thể học (Biemann, 2005; Cimiano et al., 2005; Li et al., 2006), và dịch máy (He et al., 2008; Marton et al., 2009). Để đánh giá các mô hình này, các tài nguyên tiêu chuẩn vàng với các cặp từ phải được thu thập (thường trên các quan hệ ngữ nghĩa như đồng nghĩa, siêu danh từ, trái nghĩa, đồng hạ danh từ, từ chỉ một phần, v.v.) và được chú thích về mức độ tương đồng của chúng thông qua đánh giá của con người.

Các ví dụ nổi bật nhất về tài nguyên tiêu chuẩn vàng về sự tương đồng cho tiếng Anh là bộ dữ liệu Rubenstein & Goodenough (RG) (Rubenstein and Goodenough, 1965), các câu hỏi kiểm tra TOEFL (Landauer and Dumais, 1997), WordSim353 (Finkelstein et al., 2001), MEN (Bruni et al., 2012), SimLex-999 (Hill et al., 2015), và các bộ dữ liệu tương phản từ vựng của (Nguyen et al., 2016a, 2017). Đối với các ngôn ngữ khác, các ví dụ về tài nguyên là bản dịch của bộ dữ liệu RG sang tiếng Đức (Gurevych, 2005), bộ dữ liệu tiếng Đức về các quan hệ paradigmatic (Scheible and Schulte im Walde, 2014), và bản dịch của WordSim-353 và SimLex-999 sang tiếng Đức, Ý và Nga (Leviant and Reichart, 2015). Tuy nhiên, đối với các ngôn ngữ có ít tài nguyên, vẫn còn thiếu các bộ dữ liệu như vậy, mà chúng tôi mong muốn bổ sung cho tiếng Việt, một ngôn ngữ không có đánh dấu hình thái như trường hợp, giới tính, số và thì, do đó khác biệt rất nhiều so với các ngôn ngữ Tây Âu.

Chúng tôi giới thiệu hai bộ dữ liệu mới cho tiếng Việt: một bộ dữ liệu về các cặp từ tương phản ViCon để phân biệt giữa sự tương đồng (đồng nghĩa) và không tương đồng (trái nghĩa), và một bộ dữ liệu về các cặp quan hệ ngữ nghĩa ViSim-400 để phản ánh sự liên tục giữa sự tương đồng và liên quan. Hai bộ dữ liệu này được công khai. Hơn nữa, chúng tôi xác minh các bộ dữ liệu mới của chúng tôi thông qua các mô hình đồng xuất hiện tiêu chuẩn và mạng nơ-ron, để cho thấy rằng chúng tôi thu được hành vi tương tự như đối với các bộ dữ liệu tiếng Anh tương ứng SimLex-999 (Hill et al., 2015), và bộ dữ liệu tương phản từ vựng (sau đây gọi là LexCon), xem Nguyen et al. (2016a).

**2. Công việc liên quan**

Trong những năm qua, một số bộ dữ liệu đã được thu thập để nghiên cứu và đánh giá sự tương đồng ngữ nghĩa và sự liên quan ngữ nghĩa. Đối với tiếng Anh, Rubenstein and Goodenough (1965) đã trình bày một bộ dữ liệu nhỏ (RG) gồm 65 cặp danh từ. Đối với mỗi cặp, mức độ tương đồng về ý nghĩa được cung cấp bởi 15 người đánh giá. Bộ dữ liệu RG được giả định là phản ánh sự tương đồng hơn là sự liên quan. Finkelstein et al. (2001) đã tạo ra một tập hợp gồm 353 cặp danh từ-danh từ tiếng Anh (WordSim-353), trong đó mỗi cặp được đánh giá bởi 16 đối tượng theo mức độ liên quan ngữ nghĩa trên thang điểm từ 0 đến 10.

Bruni et al. (2012) đã giới thiệu một bộ sưu tập thử nghiệm lớn gọi là MEN. Tương tự như WordSim-353, các tác giả đề cập đến cả sự tương đồng và liên quan khi mô tả bộ dữ liệu MEN, mặc dù những người chú thích được yêu cầu đánh giá các cặp theo sự liên quan. Không giống như việc xây dựng các bộ dữ liệu RG và WordSim-353, mỗi cặp trong bộ dữ liệu MEN chỉ được đánh giá bởi một người đánh giá, người đã xếp hạng nó về sự liên quan so với 50 cặp khác trong bộ dữ liệu. Gần đây, Hill et al. (2015) đã trình bày SimLex-999, một tài nguyên tiêu chuẩn vàng để đánh giá các biểu diễn ngữ nghĩa chứa các đánh giá tương đồng của các cặp từ trên các loại từ loại và mức độ cụ thể khác nhau. Việc xây dựng SimLex-999 được thúc đẩy bởi hai yếu tố, (i) để định lượng một cách nhất quán sự tương đồng, khác biệt với sự liên kết, và áp dụng nó cho các loại khái niệm khác nhau, dựa trên các hướng dẫn trực quan tối thiểu, và (ii) để có chỗ cho sự cải tiến của các mô hình hiện đại đã đạt đến hoặc vượt qua trần sự đồng thuận của con người trên WordSim-353 và MEN, các tiêu chuẩn vàng hiện có phổ biến nhất, cũng như trên RG. Scheible and Schulte im Walde (2014) đã trình bày một bộ sưu tập các cặp từ có liên quan về mặt ngữ nghĩa cho tiếng Đức và tiếng Anh, được biên soạn thông qua các thí nghiệm đánh giá của con người trên Amazon Mechanical Turk (AMT) và bao gồm (i) một lựa chọn các mục tiêu trên các lớp từ được cân bằng về mặt ngữ nghĩa, đa nghĩa và tần suất trong ngữ liệu, (ii) một tập hợp các cặp từ có liên quan về mặt ngữ nghĩa do con người tạo ra (từ đồng nghĩa, trái nghĩa, siêu danh từ) dựa trên các đơn vị mục tiêu, và (iii) một tập hợp con của các cặp từ được tạo ra được đánh giá về độ mạnh của mối quan hệ của chúng, bao gồm cả bằng chứng quan hệ tích cực và tiêu cực.

Đối với các ngôn ngữ khác, chỉ có một vài tập hợp tiêu chuẩn vàng với các cặp từ được chấm điểm tồn tại. Trong số đó, Gurevych (2005) đã tái tạo các thí nghiệm của Rubenstein và Goodenough sau khi dịch 65 cặp từ gốc sang tiếng Đức. Trong công việc sau đó, Gurevych (2006) đã sử dụng cùng một thiết lập thử nghiệm để tăng số lượng cặp từ lên 350. Leviant and Reichart (2015) đã dịch hai tập đánh giá nổi bật, WordSim-353 (liên kết) và SimLex-999 (tương đồng) từ tiếng Anh sang tiếng Ý, tiếng Đức và tiếng Nga, và thu thập các điểm số cho mỗi bộ dữ liệu từ những người bản ngữ tương ứng thông qua crowdflower.

**3. Thiết kế bộ dữ liệu**

**3.1. Tiêu chí**

Sự tương đồng ngữ nghĩa là một khái niệm hẹp hơn sự liên quan ngữ nghĩa và tồn tại giữa các thuật ngữ từ vựng có ý nghĩa tương tự. Sự tương đồng mạnh mẽ thường được quan sát thấy đối với các quan hệ từ vựng đồng nghĩa và đồng hạ danh từ. Ví dụ, trong tiếng Việt, "đội" và "nhóm" đại diện cho một cặp từ đồng nghĩa; "ô tô" và "xe đạp" là một cặp đồng hạ danh từ. Cụ thể hơn, các từ trong cặp "ô tô" và "xe đạp" chia sẻ một số tính năng như vật lý (ví dụ: bánh xe) và chức năng (ví dụ: vận tải), do đó hai từ tiếng Việt này có thể thay thế cho nhau về các loại phương tiện giao thông. Khái niệm về sự liên quan ngữ nghĩa rộng hơn và áp dụng cho các quan hệ như từ chỉ một phần, trái nghĩa, liên kết chức năng và các "quan hệ phi cổ điển" khác (Morris and Hirst, 2004). Ví dụ, "ô tô" và "xăng dầu" đại diện cho một cặp từ chỉ một phần. Trái ngược với sự tương đồng, cặp từ chỉ một phần này thể hiện một mối quan hệ chức năng rõ ràng; các từ này có liên kết chặt chẽ với nhau nhưng không tương đồng.

Các nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra rằng các dự đoán của các mô hình phân phối cũng như con người có liên quan chặt chẽ đến loại từ (POS) của các khái niệm được học. Trong số những người khác, Gentner (2006) đã chỉ ra rằng các khái niệm về động từ khó học hơn đối với trẻ em so với các khái niệm về danh từ.

Phân biệt trái nghĩa với đồng nghĩa là một trong những thách thức khó khăn nhất. Trong khi trái nghĩa đại diện cho các từ có liên kết mạnh mẽ nhưng rất khác nhau về ý nghĩa, đồng nghĩa đề cập đến các từ có ý nghĩa rất giống nhau. Tuy nhiên, các từ trái nghĩa và đồng nghĩa thường xuất hiện trong ngữ cảnh tương tự, vì chúng có thể thay thế cho nhau trong việc thay thế.

**3.2. Nguồn lựa chọn khái niệm: Từ điển tính toán tiếng Việt**

Từ điển tính toán tiếng Việt (VCL) (Nguyen et al., 2006) là một cơ sở dữ liệu ngôn ngữ phổ biến, có thể khai thác miễn phí và dễ dàng để xử lý tự động ngôn ngữ tiếng Việt. VCL chứa 35.000 từ tương ứng với 41.700 khái niệm, kèm theo thông tin về hình thái, cú pháp và ngữ nghĩa. Thông tin hình thái bao gồm 8 hình vị bao gồm từ đơn, từ ghép, từ láy, cụm từ, từ mượn, từ viết tắt, hình vị ràng buộc và ký hiệu. Ví dụ: "bàn" là một từ đơn giản với định nghĩa "đồ thường làm bằng gỗ, có mặt phẳng và chân đỡ..." (những miếng gỗ, phẳng và được hỗ trợ bởi một hoặc nhiều chân...). Thông tin cú pháp mô tả từ loại, collocation và khung phụ từ. Thông tin ngữ nghĩa bao gồm hai loại ràng buộc: logic và ngữ nghĩa. Ràng buộc logic cung cấp ý nghĩa thể loại, từ đồng nghĩa và trái nghĩa. Ràng buộc ngữ nghĩa cung cấp thông tin đối số và vai trò ngữ nghĩa. Ví dụ: "yêu" là một động từ với ý nghĩa thể loại "cảm xúc" và từ trái nghĩa là "ghét".

VCL là cơ sở dữ liệu ngôn ngữ lớn nhất thuộc loại này cho tiếng Việt và nó mã hóa nhiều loại thông tin về hình thái, cú pháp và ngữ nghĩa, vì vậy nó trình bày một điểm khởi đầu phù hợp để lựa chọn các đơn vị từ vựng cho mục đích của chúng tôi.

**3.3. Lựa chọn khái niệm**

**3.3.1. Các khái niệm trong ViCon**

Việc lựa chọn các cặp liên quan trong bộ dữ liệu này được rút ra từ VCL theo cách sau. Chúng tôi đã trích xuất tất cả các cặp trái nghĩa và đồng nghĩa theo ba loại từ: danh từ, động từ và tính từ. Sau đó, chúng tôi chọn ngẫu nhiên 600 cặp tính từ (300 cặp trái nghĩa và 300 cặp đồng nghĩa), 400 cặp danh từ (200 cặp trái nghĩa và 200 cặp đồng nghĩa) và 400 cặp động từ (200 cặp trái nghĩa và 200 cặp đồng nghĩa). Trong mỗi loại từ, chúng tôi đã cân bằng kích thước của các lớp hình thái trong VCL, cho cả cặp trái nghĩa và đồng nghĩa.

**3.3.2. Các khái niệm trong ViSim-400**

Việc lựa chọn các cặp liên quan trong bộ dữ liệu này được rút ra từ cả VLC và Vietnamese WordNet (VWN), xem Nguyen et al. (2016b). Chúng tôi đã trích xuất tất cả các cặp của ba loại từ: danh từ, động từ và tính từ, theo năm quan hệ ngữ nghĩa: đồng nghĩa, trái nghĩa, siêu danh từ, đồng hạ danh từ và từ chỉ một phần. Sau đó, chúng tôi đã lấy mẫu 400 cặp cho bộ dữ liệu ViSim-400, bao gồm 200 cặp danh từ, 150 cặp động từ và 50 cặp tính từ. Đối với các cặp danh từ, chúng tôi đã cân bằng kích thước của các cặp về mặt sáu quan hệ: năm quan hệ được trích xuất từ VCL và VWN, và một quan hệ "không liên quan". Đối với các cặp động từ, chúng tôi đã cân bằng số lượng cặp theo năm quan hệ: đồng nghĩa, trái nghĩa, siêu danh từ, đồng hạ danh từ và không liên quan. Đối với các cặp tính từ, chúng tôi đã cân bằng kích thước của các cặp cho ba quan hệ: đồng nghĩa, trái nghĩa và không liên quan. Để chọn các cặp không liên quan cho mỗi loại từ, chúng tôi đã ghép các từ không liên quan từ các cặp liên quan đã chọn một cách ngẫu nhiên. Từ những cặp ngẫu nhiên này, chúng tôi đã loại trừ những cặp xuất hiện trong VCL và VWN. Hơn nữa, chúng tôi cũng đã cân bằng số lượng cặp được chọn theo kích thước của các lớp hình thái và các thể loại từ vựng.

**3.4. Chú thích ViSim-400**

Để đánh giá ViSim-400, 200 người đánh giá là người bản ngữ tiếng Việt đã được trả tiền để đánh giá mức độ tương đồng cho tất cả 400 cặp. Mỗi người đánh giá được yêu cầu đánh giá 30 cặp trên thang điểm 0-6; và mỗi cặp được đánh giá bởi 15 người đánh giá. Không giống như các bộ dữ liệu khác thực hiện chú thích thông qua Amazon Mechanical Turk, mỗi người đánh giá cho ViSim-400 đã thực hiện chú thích thông qua một khảo sát chi tiết các hướng dẫn chú thích chính xác.

Cấu trúc của bảng câu hỏi được lấy cảm hứng từ bộ dữ liệu SimLex-999: chúng tôi đã phác thảo khái niệm tương đồng thông qua ý tưởng dễ hiểu về sáu quan hệ có trong bộ dữ liệu ViSim-400. Ngay sau hướng dẫn của bảng câu hỏi, một câu hỏi kiểm tra đã được đặt ra cho những người tham gia để kiểm tra xem người đó có hiểu hướng dẫn hay không: người tham gia được yêu cầu chọn cặp từ tương đồng nhất từ ba cặp từ đã cho, chẳng hạn như kiêu căng/kiêu ngạo so với trầm/bổng so với cổ điển/biếng. Sau đó, những người chú thích đã dán nhãn loại quan hệ và chấm điểm mức độ tương đồng cho mỗi cặp từ trong khảo sát.

**3.5. Sự đồng thuận trong ViSim-400**

Chúng tôi đã phân tích các đánh giá của những người chú thích ViSim-400 với hai thước đo sự đồng thuận giữa những người chú thích khác nhau (IAA), hệ số alpha của Krippendorff (Krippendorff, 2004) và độ lệch chuẩn trung bình (STD) của tất cả các cặp trên các lớp từ.

Thước đo IAA đầu tiên, IAA-pairwise, tính toán mối tương quan Spearman's ρ trung bình theo cặp giữa bất kỳ hai người đánh giá nào. Thước đo IAA này đã là một lựa chọn phổ biến trong các bộ sưu tập dữ liệu trước đây trong ngữ nghĩa phân phối (Pado et al., 2007; Reisinger and Mooney, 2010; Hill et al., 2015).

Thước đo IAA thứ hai, IAA-mean, so sánh mối tương quan trung bình của những người đánh giá của con người với trung bình của tất cả những người đánh giá khác. Thước đo này sẽ làm mịn các hiệu ứng của từng người chú thích cá nhân và đóng vai trò là "giới hạn trên" phù hợp hơn cho hiệu suất của các hệ thống tự động so với IAA-pairwise (Vulic et al., 2017). Cuối cùng, hệ số α của Krippendorff phản ánh sự không đồng ý của những người chú thích hơn là sự đồng ý của họ, ngoài việc điều chỉnh cho sự đồng ý tình cờ.

Bảng 1 cho thấy các giá trị đồng thuận giữa những người chú thích, hệ số α của Krippendorff và tính nhất quán của phản hồi được đo bằng STD trên tất cả các cặp và các lớp từ khác nhau trong ViSim-400. IAA-pairwise tổng thể của ViSim-400 là ρ = 0,79, so sánh thuận lợi với sự đồng thuận trên bộ dữ liệu SimLex-999 (ρ = 0,67 sử dụng cùng thước đo IAA-pairwise). Về IAA-mean, ViSim-400 cũng đạt được sự đồng thuận tổng thể là ρ = 0,86, tương tự như sự đồng thuận trong Vulic et al. (2017), ρ = 0,86. Đối với hệ số α của Krippendorff, giá trị đạt được là α = 0,78, cũng phản ánh độ tin cậy của bộ dữ liệu được chú thích.

Hơn nữa, các biểu đồ hộp trong Hình 1 trình bày sự phân bố của tất cả các cặp được đánh giá về các quan hệ ngữ nghĩa chi tiết trên các lớp từ. Chúng tiết lộ rằng - trên các lớp từ - các cặp từ đồng nghĩa rõ ràng được đánh giá là các từ tương đồng nhất, và các cặp trái nghĩa cũng như không liên quan rõ ràng được đánh giá là các từ không tương đồng nhất. Siêu danh từ, đồng hạ danh từ và từ chỉ một phần nằm ở giữa, nhưng khá tương đồng hơn là không tương đồng.

**4. Xác minh các bộ dữ liệu**

Trong phần này, chúng tôi xác minh các bộ dữ liệu mới của chúng tôi, ViCon và ViSim-400, thông qua các mô hình đồng xuất hiện tiêu chuẩn và mạng nơ-ron, để cho thấy rằng chúng tôi thu được hành vi tương tự như đối với các bộ dữ liệu tiếng Anh tương ứng.

**4.1. Xác minh ViSim-400**

Chúng tôi áp dụng một so sánh các mô hình mạng nơ-ron trên SimLex-999 như được đề xuất bởi Nguyen et al. (2016a). Họ đã áp dụng ba mô hình, một mô hình Skip-gram với negative sampling SGNS (Mikolov et al., 2013), mô hình dLCE (Nguyen et al., 2016a) và mô hình mLCM (Pham et al., 2015). Cả mô hình dLCE và mLCM đều tích hợp thông tin tương phản từ vựng vào mô hình Skip-gram cơ bản để huấn luyện các nhúng từ để phân biệt các từ trái nghĩa với từ đồng nghĩa và để phản ánh mức độ tương đồng.

Ba mô hình được huấn luyện với 300 chiều, kích thước cửa sổ 5 từ và 10 mẫu âm. Về ngữ liệu, chúng tôi dựa vào các ngữ liệu tiếng Việt với tổng cộng ≈145 triệu token, bao gồm Wikipedia tiếng Việt, VNESEcorpus và VNTQcorpus, và Leipzig Corpora Collection cho tiếng Việt (Goldhahn et al., 2012). Để phân đoạn từ và gắn thẻ POS, chúng tôi đã sử dụng bộ công cụ mã nguồn mở UETnlp (Nguyen and Le, 2016).

Các cặp từ trái nghĩa và đồng nghĩa để huấn luyện các mô hình dLCE và mLCM được trích xuất từ VWN bao gồm 49.458 cặp trái nghĩa và 338.714 cặp đồng nghĩa. Tất cả các cặp xuất hiện trong ViSim-400 đã bị loại trừ khỏi tập hợp này.

Bảng 2 cho thấy các mối tương quan Spearman ρ, so sánh điểm số của ba mô hình với đánh giá của con người cho ViSim-400. Như cũng được báo cáo cho tiếng Anh, mô hình dLCE tạo ra hiệu suất tốt nhất, SGNS là kém nhất.

Trong một thử nghiệm thứ hai, chúng tôi đã tính toán độ tương đồng cosine giữa tất cả các cặp từ và sử dụng diện tích dưới đường cong (AUC) để phân biệt giữa các từ trái nghĩa và đồng nghĩa. Bảng 3 trình bày kết quả AUC của ba mô hình. Một lần nữa, các mô hình cho thấy hành vi tương tự so với SimLex-999, trong đó mô hình dLCE cũng vượt trội hơn hai mô hình khác và mô hình SGNS kém nhất.

**4.2. Xác minh ViCon**

Để xác minh ViCon, chúng tôi đã áp dụng ba mô hình đồng xuất hiện để xếp hạng các cặp từ trái nghĩa và đồng nghĩa theo độ tương đồng cosine của chúng: hai mô hình đồng xuất hiện tiêu chuẩn dựa trên thông tin tương hỗ điểm tích cực (PPMI) và thông tin tương hỗ cục bộ tích cực (PLMI) (Evert, 2005) cũng như một biểu diễn giá trị tính năng được cải tiến weightSA như được đề xuất bởi Nguyen et al. (2016a). Để xây dựng các mô hình đồng xuất hiện không gian vectơ, chúng tôi đã dựa vào cùng một ngữ liệu tiếng Việt như trong phần trước. Để tạo ra các biểu diễn vectơ từ thông qua weightSA, chúng tôi đã sử dụng các cặp trái nghĩa và đồng nghĩa trong VWN, như trong phần trước, và sau đó loại bỏ tất cả các cặp xuất hiện trong ViCon. Tùy chọn, chúng tôi đã áp dụng phân rã giá trị đơn (SVD) để giảm kích thước của các biểu diễn vectơ từ.

Như trong Nguyen et al. (2016a), chúng tôi đã tính toán độ tương đồng cosine giữa tất cả các cặp từ, và sau đó sắp xếp các cặp theo điểm số cosine của chúng. Độ chính xác trung bình (AP) đã đánh giá ba mô hình không gian vectơ. Bảng 4 trình bày kết quả của ba mô hình không gian vectơ có và không có SVD. Như đối với tiếng Anh, kết quả trên bộ dữ liệu tiếng Việt cho thấy sự cải thiện đáng kể (χ2, \* p <.001) của weightSA so với PPMI và PLMI, cả có và không có SVD, và trên các lớp từ.

**5. Kết luận**

Bài báo này đã giới thiệu hai bộ dữ liệu mới cho tiếng Việt, một ngôn ngữ có ít tài nguyên, để đánh giá các mô hình về sự tương đồng ngữ nghĩa: ViCon bao gồm các cặp từ đồng nghĩa và trái nghĩa trên các lớp từ là danh từ, động từ và tính từ. Nó cung cấp dữ liệu để phân biệt giữa sự tương đồng và không tương đồng. ViSim-400 chứa 400 cặp từ trên ba lớp từ và năm quan hệ ngữ nghĩa. Mỗi cặp đã được đánh giá bởi người về mức độ tương đồng của nó, để phản ánh sự liên tục giữa sự tương đồng và liên quan. Hai bộ dữ liệu đã được xác minh thông qua các mô hình đồng xuất hiện tiêu chuẩn và mạng nơ-ron, cho thấy kết quả tương đương với các bộ dữ liệu tiếng Anh tương ứng.

**Lời cảm ơn**

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo của nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (Học bổng 977/QĐ-BGDĐT; Kim Anh Nguyen) và Trung tâm Nghiên cứu Hợp tác DFG SFB 732 (Kim-Anh Nguyen, Sabine Schulte im Walde, Ngoc Thang Vu).