

Đối tượng, Không gian, Thời gian

Nguyễn Thị Hồng

Trường Cao đẳng Công nghiệp Cao su (RIC)
hongnguyen1611@gmail.com

Tóm tắt. Ba hợp phần cơ bản của thế giới thực là đối tượng, không gian, thời gian. Công trình này nghiên cứu các phân tích và hệ thống hóa của Peuquet [9] và cách biểu diễn toán học của Andrienko [4]. Tiếp theo đó, cụ thể hơn các tính chất của mỗi hợp phần. Đặc biệt, phân tích các tính chất vừa phân cấp vừa hạt, vừa phân cấp vừa tuần hoàn, vừa tuyến tính vừa tuần hoàn của thời gian. Từ những phân tích của Andrienko [4] về các quan hệ trong nội bộ từng tập “đối tượng”, “không gian”, “thời gian” và các quan hệ giữa các phần tử của các tập, bài viết đã cụ thể hơn các khái niệm đối tượng không gian, đối tượng thời gian, đối tượng không gian – thời gian, đối tượng di động. Trên cơ sở các quan hệ của các tập, các đặc trưng của các loại đối tượng này được phân tích một cách chi tiết. Bài viết cũng đã phân tích cụ thể hơn các quan hệ tam giác “cái gì”, “ở đâu”, “khi nào” của Peuquet và quan hệ “đối tượng”, “không gian”, “thời gian” của Andrienko.

Từ khóa. đối tượng, không gian, thời gian, đối tượng không gian - thời gian, đối tượng di động.

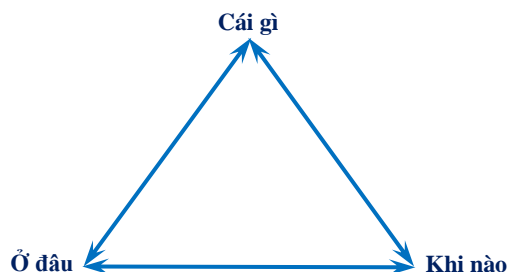
1 Giới thiệu

Ý tưởng chính của nghiên cứu là giải quyết thách thức hiện nay của biểu diễn trực quan các bộ dữ liệu của đối tượng không gian thời gian đa biến. Bài viết sẽ đi sâu phân tích các quan hệ đối tượng không gian, đối tượng thời gian, đối tượng không gian thời gian, đối tượng di động để đề xuất các mô hình biểu diễn đối tượng không gian, đối tượng thời gian, đối tượng không gian thời gian, đối tượng không gian thời gian đa biến, đối tượng di động, đối tượng di động đa biến.



Hình 1. Sơ đồ biểu diễn mối quan hệ giữa thế giới thực và trực quan hóa

Nghiên cứu của Peuquet (1994) đã xác định ba hợp phần cơ bản của thế giới thực là cái gì (what), ở đâu (where) và khi nào (when). Bà đã biểu diễn chúng như một tam giác và phân tích các mối quan hệ giữa các thành phần này (Hình 2). Tiếp theo đó, Andrienko đã phân tích xa hơn những quan hệ này để định nghĩa các loại đối tượng và những phương pháp biểu diễn [4], [6].



Hình 2. Sơ đồ biểu diễn mối quan hệ giữa 3 thành phần cái gì, ở đâu, khi nào
(nguồn: Peuquet)

2 Các Thành phần Cơ bản trong Thế giới thực

Thế giới thực được biểu diễn một cách trực quan dựa trên việc phân tích các thuộc tính cơ bản về không gian – thời gian và được nghiên cứu chi tiết cụ thể như sau:

2.1 Đối tượng

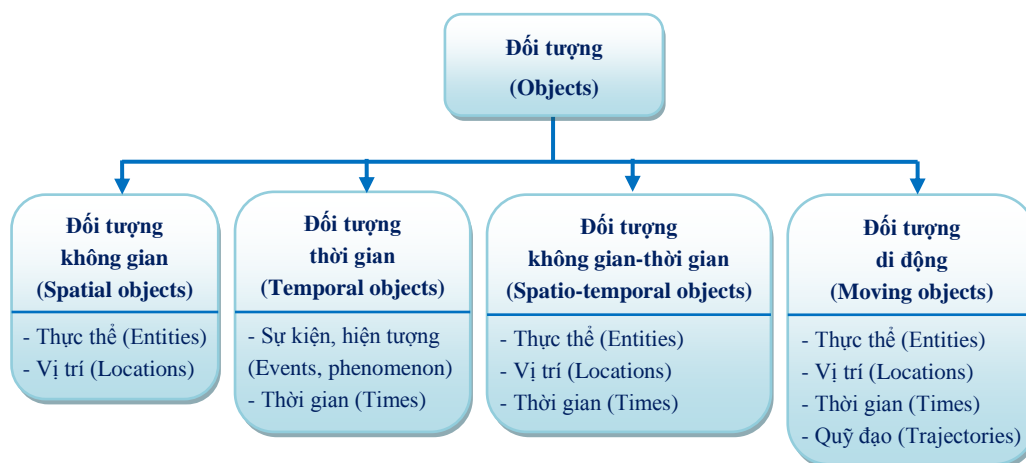
Đối tượng (object) là một thực thể vật lý hoặc trừu tượng. Một đối tượng được cảm nhận thông qua thuộc tính của nó như tên gọi, hình ảnh, phân loại, màu sắc, kích thước, chiều cao, cân nặng... Dựa vào những tính chất không gian và thời gian, đối tượng có thể được xếp vào nhóm đối tượng không gian hoặc đối tượng thời gian. Đối tượng không gian là đối tượng có không gian xác định, mỗi đối tượng không gian có một vị trí xác định trong không gian ở bất kỳ thời điểm nào. Đối tượng thời gian là đối tượng xảy ra trong một khoảng thời gian xác định ở bất kỳ vị trí nào, mỗi đối tượng thời gian được gọi là một sự kiện hay một hiện tượng. Khi xét đến đối tượng không gian ta quan tâm đến đối tượng và vị trí tồn tại của đối tượng trong không gian. Khi xét đến đối tượng thời gian ta quan tâm đến đối tượng và thời gian tồn tại của đối tượng.

Một đối tượng có thể được phân loại theo quan hệ không gian, thời gian, không gian – thời gian, hoặc di động (Hình 3). Đối tượng không gian là đối tượng được xác định tại một vị trí cụ thể trong không gian mỗi khi nó xuất hiện. Đối tượng thời gian là đối tượng xuất hiện tại những khoảng thời gian xác định. Đối tượng không gian – thời gian là đối tượng được xuất hiện tại những vị trí và những thời điểm tương ứng. Đối tượng di động là đối tượng có vị trí thay đổi liên tục trong không gian theo thời gian.

2.2 Không gian

Không gian (space) là khái niệm dùng để chỉ vị trí mà các thực thể hiện hữu. Không gian là nơi xảy ra một sự kiện hoặc một hoạt động của một đối tượng nào đó. Không

gian và thời gian là một cặp phạm trù tương tác không tách rời, không gian là một trong ba thành phần chính của địa lý thời gian. Không gian được cảm nhận thông qua không gian địa lý, mà không gian địa lý biết được nhờ các đối tượng địa lý.



Hình 3. Sơ đồ biểu diễn các nhóm đối tượng

Không gian được xác định bởi các đối tượng địa lý tự nhiên hoặc đối tượng địa lý do con người áp đặt [7]. Vị trí của các đối tượng địa lý được dùng để tham chiếu, xác định vị trí của các đối tượng khác trong không gian. Không gian là liên tục nhưng các đối tượng địa lý thường không liên tục (ví dụ: đất đai, sông hồ, biên giới,...).

Mặt phẳng được dùng để mô hình đối tượng địa lý, bởi vì mặt phẳng giống không gian địa lý [6]. Mặt phẳng được dùng để mô phỏng và hiển thị bằng đồ họa các đối tượng địa lý gọi là bản đồ địa lý. Bản đồ hiển thị các đối tượng địa lý bằng các tính chất hình học, khoảng cách, cao độ, vị trí địa lý, ... của các đối tượng địa lý được gọi là đối tượng tham chiếu. Dựa vào các đối tượng địa lý thì các đối tượng khác được xác định.

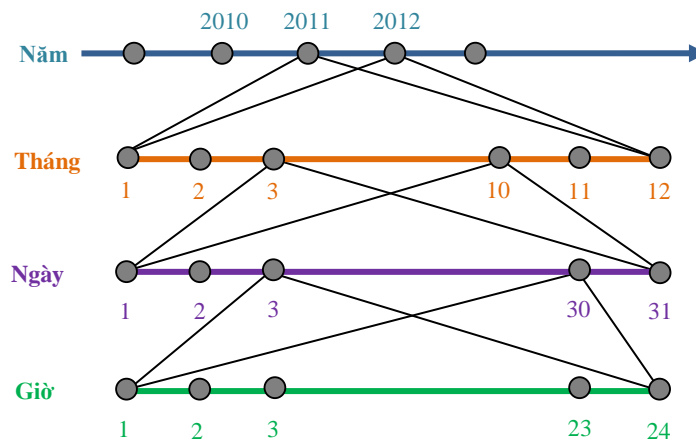
2.3 Thời gian

Thời gian là một khái niệm trực giác, mọi người có thể nhận biết thời gian nhưng không thể thấy, không thể sờ được [9]. Theo ý nghĩa toán học thì thời gian thay đổi liên tục và tự nhiên, thời gian được cảm nhận thông qua các số đo thời gian như ngày, tháng, năm, giờ, phút, giây,... Thời gian có hai đặc tính cơ bản là phân cấp và hạt. Tính chất phân cấp của thời gian được biểu diễn bởi cây thời gian phân cấp theo thứ tự: năm, tháng, ngày, giờ, phút, giây, ... Tính chất hạt của thời gian được biểu diễn bởi sự chứa đựng lẫn nhau, thứ tự chứa đựng lẫn nhau của thời gian được thể hiện như sau: năm chứa tháng, tháng chứa ngày, ngày chứa giờ, giờ chứa phút, phút chứa giây.

Thông thường, những số đo thời gian có thể được sắp xếp vào một trong 2 hệ thống được phân chia như sau tùy thuộc vào hoạt động khảo sát và dữ liệu sẵn có. Hệ thống có thể phân chia theo giây, phút, giờ, ngày, tháng, năm hoặc theo ngày, tuần,

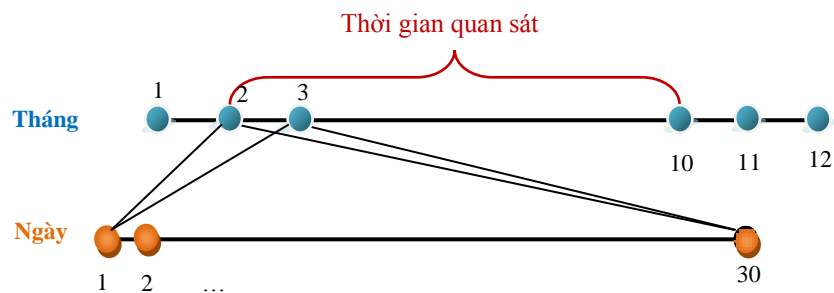
năm [14]. Cả hai hệ thống trên đều được sử dụng đồng thời tùy thuộc vào ngữ cảnh cụ thể.

Tính chất tuần hoàn và tuyến tính là một cặp phạm trù đặc biệt của thời gian, nghĩa là thời gian vừa tuyến tính vừa tuần hoàn. Dù thời gian luôn luôn thay đổi một cách liên tục, nhưng nó được ghi lại thành những đơn vị thời gian rời rạc. Giá trị của tháng, ngày, giờ, phút, giây là những giá trị rời rạc và tuần hoàn, giá trị của năm là tuyến tính vì nó không bao giờ lặp lại mà chỉ tăng dần. Năm là một chuỗi vô hạn của những số nguyên sắp xếp theo thứ tự, mà giá trị của năm chính là tên năm. Tháng, ngày, giờ, phút, giây có giá trị tuần hoàn theo tự nhiên, chúng được xác định bởi những tập số nguyên (Hình 4).

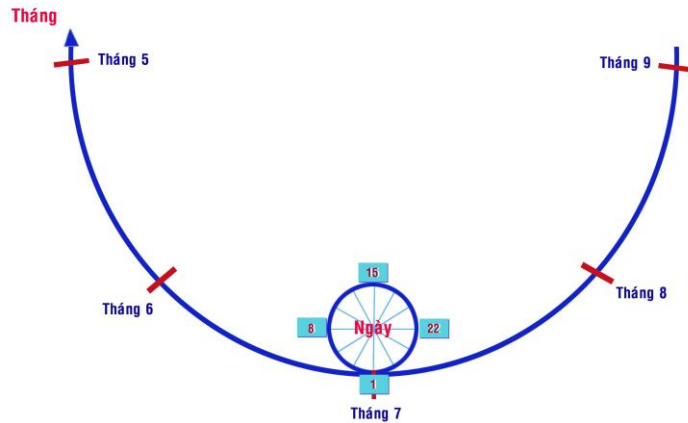


Hình 4. Tính chất vừa phân cấp vừa tuần hoàn của thời gian

Việc xác định tính chất tuyến tính và tuần hoàn của thời gian tùy thuộc vào khoảng thời gian được quan sát. Một đơn vị thời gian tương đương với một mức nào đó trên cây thời gian, mức đó là tuyến tính nếu thời gian quan sát nhỏ hơn một chu kỳ của nó (Hình 5, 6).



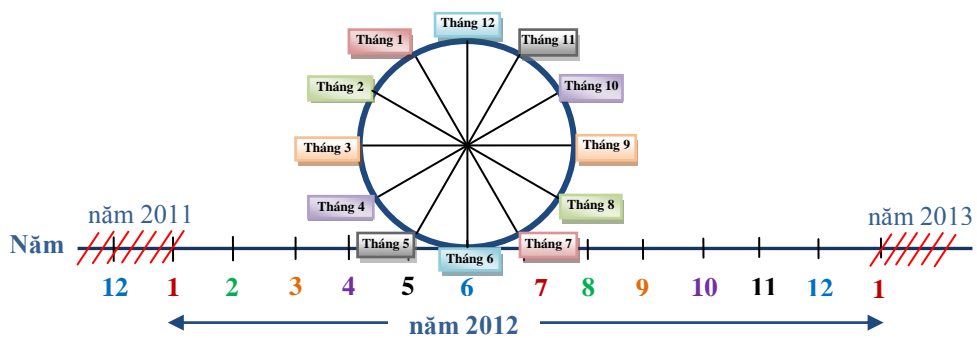
Hình 5. Tính chất vừa phân cấp vừa hạt của thời gian



Hình 6. Tính chất hạt của thời gian

Một tập số đo thời gian là tuyến tính được biểu diễn trên trục thời gian với những khoảng cách được đánh dấu đều nhau, một mức của cây phân cấp được biểu diễn bằng một vòng tròn mà chu vi của nó bằng đúng một khoảng của mức trên (ví dụ: chu vi của vòng tròn tháng bằng một khoảng của mức năm). Vòng tròn tháng chứa vòng tròn ngày, vòng tròn ngày chứa vòng tròn giờ, vòng tròn giờ chứa vòng tròn phút, vòng tròn phút chứa vòng tròn giây. Những vòng tròn này hoạt động như một hệ thống bánh xe thời gian (ví dụ, khi bánh xe tháng chạy vòng tròn trên trục năm thì hết 1 vòng là 1 năm, ...) (Hình 7).

Mặc dù thời gian có tính tuần hoàn nhưng không có phần tử thời gian nào trùng nhau do sự tuyến tính của năm. Ngoài sự tuần hoàn tự nhiên của thời gian thì còn có chu kỳ của thời gian được tuần hoàn bởi hoạt động của con người, như các ngày làm việc và ngày lễ, chúng ta làm việc từ thứ 2 đến thứ 6, trong khi nghỉ hai ngày là thứ 7 và chủ nhật.



Hình 7. Tính chất vừa tuyến tính vừa tuần hoàn của thời gian

Hai phạm trù được tiếp cận để chỉ thời gian là thời điểm và thời đoạn. Một thời điểm là một trừu tượng toán học vì nó là một điểm trên trục thời gian mà hình dạng và

kích thước không thể xác định được. Trong thực tế một thời điểm là một điểm vật lý trên trục thời gian, mà kích thước của điểm đó tùy thuộc độ phân giải thời gian (ví dụ: “vào lúc 1 giờ 15 phút” được hiểu rằng chiều dài của thời điểm này là từ 11 giờ 15 phút đến nhỏ hơn 11 giờ 16 phút). Thời điểm kích thích một dụng cụ điện tử đến khi nó hoạt động có kích thước tương đương thời đoạn. Thông thường khoảng thời gian chính là một khoảng trên trục thời gian có điểm đầu và điểm cuối, dựa trên tính chất của bài toán ta có thể chọn thời điểm hoặc thời khoảng. Theo Andrienko, cả 2 phạm trù này đều có số đo của riêng chúng mà ta gọi chung là đơn vị thời gian [4].

Khi khảo sát quan hệ giữa các đối tượng thời gian và đối tượng không gian-thời gian, topology của 2 đơn vị thời gian là rất quan trọng vì nó giúp giải quyết các bài toán trong xã hội, thiết kế flow chart, thiết kế cơ sở dữ liệu, giải quyết các bài toán kinh tế. Peuquet (1994) [9] đã phân tích 7 vị trí tương đối giữa 2 đơn vị thời gian như sau: X xảy ra trước Y, X bằng Y, X gặp Y, X che Y, X chứa Y, X và Y gặp nhau tại điểm xuất phát, X và Y gặp nhau tại điểm kết thúc [9].

3 Quan hệ của các Thành phần trong Thế giới thực

Theo mô hình tam giác của Peuquet thì dựa vào quan hệ của 2 tập ta có thể cho ra kết quả của tập còn lại, và chính bản thân mỗi thành phần cũng có quan hệ với chính nó. Ý nghĩa này đã được Andrienko phân tích bởi mối quan hệ giữa đối tượng, không gian và thời gian [3,4].

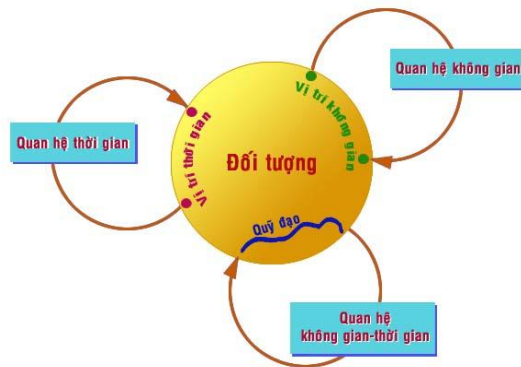
3.1 Quan hệ trong Tập Đối tượng

Quan hệ trong tập đối tượng gồm quan hệ không gian, quan hệ thời gian, và quan hệ không gian-thời gian (Hình 8).

Quan hệ không gian thể hiện qua quan hệ giữa những vị trí không gian của các đối tượng gồm quan hệ metric và quan hệ topology của các đối tượng trong tập. Quan hệ metric xác định khoảng cách định lượng giữa các đối tượng. Quan hệ topology giữa các đối tượng gồm: rời nhau, hướng đông tây nam bắc, kề nhau, cắt nhau, chồng nhau, trùng khít nhau, trong nhau.

Quan hệ thời gian giữa các phần tử thời gian gồm có quan hệ metric và quan hệ topology. Quan hệ metric của 2 phần tử thời gian xác định khoảng cách giữa 2 phần tử thời gian. Quan hệ topology của các phần tử thời gian gồm có trước, trùng nhau, gặp, chồng nhau, trong nhau, bắt đầu, kết thúc (Peuquet). Trong một tập đối tượng, các đối tượng có mối quan hệ với nhau thông qua thời gian, nhờ thời gian mà đối tượng này có thể quan hệ được với đối tượng kia. Những đối tượng có quan hệ thời gian bằng nhau thì có quan hệ chặt chẽ hơn, những đối tượng có quan hệ thời gian trước sau thì ít chặt chẽ hơn.

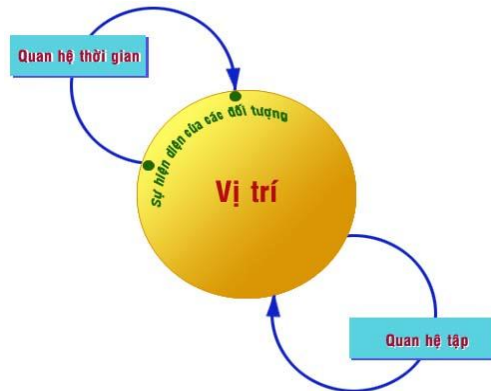
Quan hệ không gian-thời gian là quan hệ giữa các quỹ đạo của các đối tượng trong tập gồm có quan hệ tách rời nhau, quan hệ cắt nhau. Các đối tượng không gian – thời gian gắn kết với nhau qua quỹ đạo của chúng, nếu quỹ đạo khác nhau thì chúng có quan hệ ít hơn trường hợp quỹ đạo cắt nhau hoặc trùng nhau.



Hình 8. Các quan hệ trong tập đối tượng

3.2 Quan hệ trong Tập Vị trí

Quan hệ trong tập vị trí gồm quan hệ nội tại của tập, thể hiện qua quan hệ metric và quan hệ topology của các vị trí; và quan hệ thời gian giữa các vị trí thông qua sự hiện diện của các đối tượng tại các vị trí đó (Hình 9).



Hình 9. Các quan hệ trong tập đối tượng

Định luật địa lý thứ nhất của Tobler (1970) “mọi vật đều quan hệ với nhau, những vật ở gần có quan hệ nhiều hơn những vật ở xa” đề cập tới quan hệ metric của các vị trí trong tập vị trí. Hiện nay với sự bùng nổ của mạng internet toàn cầu, đã xuất hiện nhiều quan hệ qua mạng internet, định luật này vẫn đúng với khái niệm gần xa theo nghĩa địa lý trong thế giới thực và nghĩa logic trong thế giới ảo.

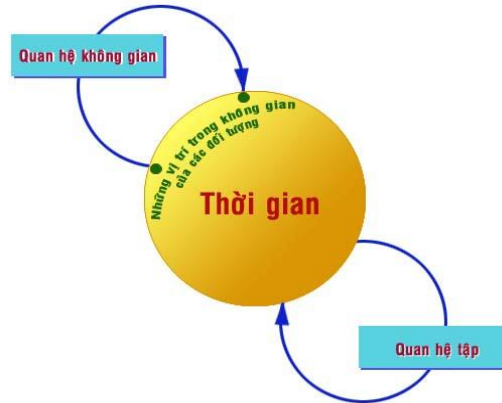
Quan hệ giữa các vị trí được thể hiện thông qua quan hệ thời gian của các đối tượng hiện diện tại các vị trí đó. Các vị trí tự thân không có quan hệ thời gian, chỉ có

quan hệ thời gian thông qua sự hiện diện của các đối tượng tại các vị trí đó. Các vị trí không có sự hiện diện của các đối tượng thì không có quan hệ thời gian. Các vị trí có sự hiện diện của các đối tượng nhưng các đối tượng đó không quan hệ với nhau thì các vị trí đó không có quan hệ thời gian.

3.3 Quan hệ trong Tập Thời gian (times and times)

Quan hệ trong tập thời gian gồm quan hệ nội tại của tập, thể hiện qua quan hệ metric và quan hệ topology của các đơn vị thời gian; và quan hệ không gian giữa các vị trí trong không gian của các đối tượng tại các đơn vị thời gian đó (Hình 10).

Quan hệ metric của các đơn vị thời gian trong tập thời gian thể hiện qua khoảng cách xa gần của các đơn vị thời gian. Quan hệ topology của 2 đơn vị thời gian là các quan hệ: trước, bằng nhau, gặp nhau, chồng nhau, trong nhau, bắt đầu, kết thúc [9].



Hình 10. Các quan hệ trong tập thời gian

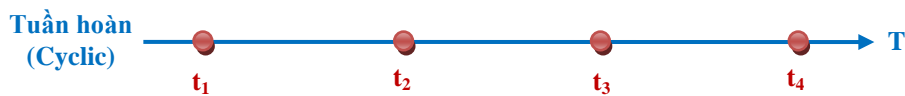
Quan hệ giữa các đơn vị thời gian được thể hiện qua quan hệ không gian giữa những vị trí không gian của các đối tượng tại các thời điểm đó. Các thời điểm tự thân không có quan hệ không gian, chỉ có quan hệ không gian thông qua những vị trí trong không gian của các đối tượng tại các thời điểm đó. Các thời điểm không có những vị trí trong không gian của các đối tượng thì không có quan hệ không gian. Các thời điểm có những vị trí trong không gian của các đối tượng nhưng các đối tượng đó không quan hệ với nhau thì các thời điểm đó không có quan hệ không gian.

3.4 Quan hệ giữa Đối tượng và Thời gian (objects and times)

Quan hệ đối tượng và thời gian là sự hiện hữu của đối tượng tại một đơn vị thời gian nào đó. Dựa vào quan hệ này ta có thể chỉ ra được đối tượng nào là đối tượng thời gian. Những đối tượng thời gian có những thuộc tính tĩnh và thuộc tính động. Tại một

vị trí đặc biệt thì một đối tượng trong một tập đối tượng sẽ có một số thuộc tính thay đổi theo thời gian.

Đối tượng thời gian (temporal object) là đối tượng tuần hoàn hoặc không tuần hoàn. Đối tượng thời gian tuần hoàn là đối tượng xuất hiện rồi lặp lại sau mỗi khoảng thời gian bằng nhau (Hình 11), các khoảng thời gian bằng nhau đó được gọi là chu kỳ. Đối tượng thời gian không tuần hoàn là đối tượng mỗi lần xuất hiện vào một thời điểm bất kỳ không theo một quy luật nào cả.



Hình 11. Đối tượng thời gian tuần hoàn

Thời gian là một tài nguyên đặc biệt của mọi đối tượng vì mọi sự thay đổi của đối tượng đều cần tới thời gian. Thời gian là một đòi hỏi bắt buộc cho mọi sự thay đổi thuộc tính của đối tượng, mọi đối tượng không thể thay đổi nếu không có thời gian. Sự thay đổi thuộc tính của đối tượng là tuyến tính hoặc tuần hoàn theo thời gian.

3.5 Quan hệ giữa Đối tượng và Không gian

Quan hệ đối tượng và không gian là sự xuất hiện của đối tượng tại một vị trí nào đó trong không gian. Dựa vào quan hệ này ta có thể chỉ ra được đối tượng nào là đối tượng không gian. Những đối tượng không gian có những thuộc tính tĩnh hoặc động được thể hiện trong tập không gian. Tại một đơn vị thời gian đặc biệt thì một đối tượng trong một tập đối tượng sẽ có một số thuộc tính thay đổi theo không gian.

Đối tượng không gian (spatial object) cũng có thể là đối tượng tuần hoàn hoặc không tuần hoàn. Đối tượng không gian tuần hoàn là đối tượng mà hoạt động của nó sẽ lặp đi lặp lại trong một vùng không gian xác định. Đối tượng không gian không tuần hoàn là đối tượng mà hoạt động của chúng diễn ra trong nhiều vùng không gian khác nhau.

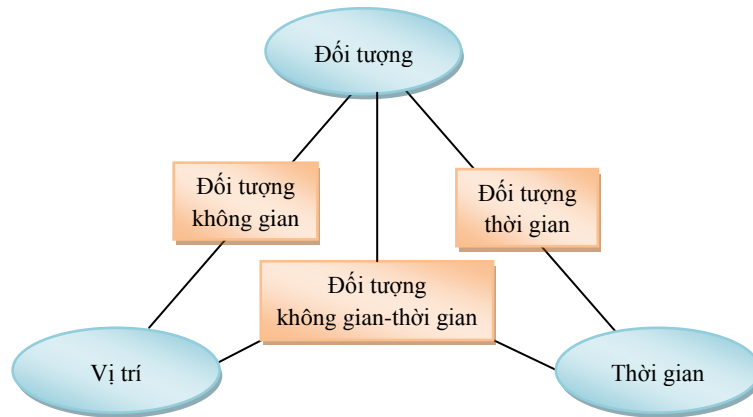
3.6 Quan hệ giữa Không gian và Thời gian

Không gian và thời gian là một cặp phạm trù không tách rời. Do đó, thời gian phải được thêm vào hệ thống tham chiếu để chỉ định vị trí không gian - thời gian của một đối tượng cho dù hệ thống là một chiều, hai chiều hay nhiều chiều [8]. Quan hệ giữa không gian và thời gian được phản ánh bởi sự hiện hữu của một hoặc nhiều đối tượng tại một hay nhiều vị trí với những đơn vị thời gian khác nhau. Nói cách khác, sự hiện hữu của những đối tượng cho ta thấy quan hệ giữa vị trí và đơn vị thời gian, do đó quan hệ này mô tả vị trí không gian - thời gian của một đối tượng thời gian hoặc một đối tượng không gian cho trước.

3.7 Quan hệ giữa Đối tượng và Không gian, Thời gian

Quan hệ giữa đối tượng, không gian và thời gian mô tả hoạt động của đối tượng theo không gian và thời gian. Có 2 tiếp cận cho quan hệ này:

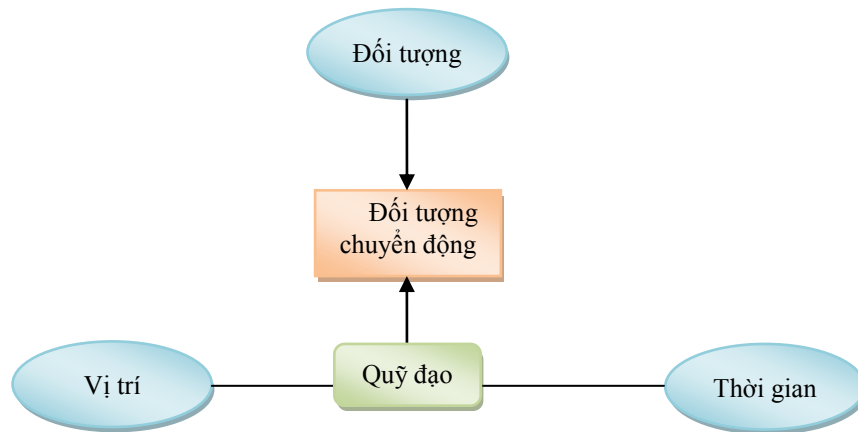
Tại những đơn vị thời gian rời rạc, những đối tượng xuất hiện tại những vị trí khác nhau. Đối tượng không gian – thời gian (spatio-temporal object) là đối tượng mà tại những thời điểm khác nhau sẽ xuất hiện ở những vị trí khác nhau. Tại một thời điểm xác định thì đối tượng chỉ có thể tồn tại ở một vị trí, nhưng một đối tượng có thể hiện diện tại một vị trí ở nhiều thời điểm khác nhau. Khi xét đối tượng không gian – thời gian, ta quan tâm đến các thành phần như: đối tượng, không gian và thời gian (hình 12).



Hình 12. Mối quan hệ giữa các thành phần của đối tượng không gian-thời gian

Trong miền thời gian, vị trí của đối tượng thay đổi theo thời gian, thuộc tính của chúng có thể thay đổi hay không thay đổi theo thời gian. Đối tượng di động vẽ nên quỹ đạo trong không gian địa lý. Những quỹ đạo này biểu diễn quan hệ giữa vị trí và thời gian của đối tượng. Hoạt động này của đối tượng được gọi là di động. Sự di động được xác định khi quỹ đạo của đối tượng di động là liên tục trong không gian địa lý cho dù đối tượng đó có thể dừng lại ở đâu đó tại một số đơn vị thời gian (Hình 13). Một đối tượng phải sử dụng thời gian để di chuyển từ điểm này đến điểm khác trong không gian. Chuyển động đã biến đổi thời gian thành không gian.

Đối tượng di động (moving object) là đối tượng có vị trí thay đổi liên tục trong không gian theo thời gian [2],[6]. Đối tượng di động có thể dừng lại tại một vị trí nào đó trong một khoảng thời gian nhất định trong quá trình di chuyển của đối tượng. Tại một thời điểm thì đối tượng chỉ tồn tại ở một vị trí nhất định. Đối tượng có thể xuất hiện nhiều lần tại một vị trí ở những thời điểm khác nhau.



Hình 13. Mối quan hệ giữa các thành phần của đối tượng chuyển động

4 Kết luận

Trên đây, bài viết đã nghiên cứu các hợp phần của thế giới thực gồm đối tượng, không gian, thời gian. Từ những phát hiện của Hagerstrand đến các nghiên cứu của Tominski [10] và đặc biệt là nghiên cứu của Peuquet [9] đã hệ thống hóa các khái niệm rất cơ bản này, và phân tích xa hơn với những phát biểu toán học của ông bà Andrienko [3,4]. Peuquet đã chỉ ra những đặc trưng cơ bản của mỗi thành phần đối tượng, không gian, thời gian, các quan hệ của các thành phần này trong tam giác “what”, “where”, “when”. Trong đó, khi hai thành phần được biết thì có thể suy ra thành phần còn lại. Trong khi đó, Andrienko đã dùng ngôn ngữ toán học để phân tích xa hơn các quan hệ của “đối tượng”, “không gian”, “thời gian”. Những quan hệ này được Andrienko chỉ ra như các quan hệ của các phần tử trong mỗi tập “đối tượng”, “không gian”, “thời gian”, và quan hệ giữa các phần tử trong các tập khác nhau. Các quan hệ giữa các tập này phát sinh ra những khái niệm đối tượng không gian, đối tượng thời gian, đối tượng không gian – thời gian, đối tượng di động. Đóng góp cho các nghiên cứu này, chúng tôi đã chi tiết hóa và cụ thể thêm những phân tích của Peuquet và Andrienko như tính chất vừa tuyến tính vừa tuần hoàn của thời gian, tính chất vừa phân cấp vừa hạt của thời gian, v.v...

Trên cơ sở những nghiên cứu và phân tích đó, chúng tôi sẽ nghiên cứu xây dựng cơ sở cho việc xây dựng các mô hình biểu diễn trực quan. Trong những công trình nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ đề xuất các mô hình biểu diễn trực quan cho từng loại đối tượng. Cùng với những mô hình trực quan hóa được đề xuất, chúng tôi sẽ phát triển vài ứng dụng để minh họa tính chất hỗ trợ phân tích và rút trích thông tin của mô hình.

Tài liệu tham khảo

1. Andrienko N., Andrienko G., Hendrik Stange, Thomas Liebig, Dirk Hecker. Visual Analytics for Understanding Spatial Situations from Episodic Movement Data, (2012).
2. Andrienko N., Andrienko G. Visual analytics of movement: an overview of methods, tools, and procedures, (2012).
3. Andrienko G., Andrienko N., Marco Heurich. An Event-Based Conceptual Model for Context-Aware Movement Analysis, (2011).
4. Andrienko G., Andrienko N., Bak P., Keim D., Kisilevich S., Wrobel S., A conceptual framework and taxonomy of techniques for analyzing movement, *Journal of Visual Languages and Computing*, 23, (2011), pp. 213-232.
5. Andrienko G., Andrienko N., Demsar U., Dransch D., Dykes J, Fabrikant S.I., Jern M., Kraak M.J., Schumann H. & Tominski C., Space, time and visual analytics, *International Journal of Geographical Information Science*, 24 (10), (2010), pp. 1577–1600.
6. Andrienko N., Andrienko G., Pelekis N., and Spaccapietra S., Basic concepts of movement data, In: Giannotti F. and Pedreschi D., eds. *Mobility, Data Mining and Privacy*, Geographic Knowledge Discovery. Springer, (2008), pp. 15-38.
7. Graeme F. Bonham-Carter, 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon. First edition (1994).
8. Hagerstrand T., What about people in regional science?, *Papers of Ninth European Congress of Regional Science Association*, 24, (1970), pp. 7-21.
9. Peuquet D.J., 1994. It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 84, No. 3 (Sep., 1994), pp. 441-461. Published by: Taylor & Francis.
10. Tominski C., Schulze-Wollgast P., Schumann H., 3D Information Visualization for Time Dependent Data on Maps, *Proceedings of the International Conference on Information Visualization (IV)*, IEEE Computer Society, (2005), pp. 175-181.
11. Tran V.P., Nguyen T.H., 2011. An Integrated Space-Time-Cube as a Visual Warning Cube. *Proceedings of 3rd International Conference on Machine Learning and Computing*. IEEE Publisher, 4, 449-453.
12. Tran V.P., Nguyen T.H., 2011. Visualization Cube for Tracking Moving Object. *Proceedings of Computer Science and Information Technology, Information and Electronics Engineering*, IACSIT Press, 6, 258-262.
13. Ying Song and Harvey J. Miller, Exploring traffic flow databases using space-time plots and data cubes, *Transportation*, 2012, 39 (2), (2012), pp. 215-234.
14. Yu H., Shaw S.L., Revisiting Hägerstrand's time-geographic framework for individual activities in the age of instant access, In: H.J. Miller, ed., *Societies and Cities in the Age of Instant Access*, Springer, (2007), pp. 103–118.