

MỘT CẢI TIẾN THUẬT TOÁN KMEANS CHO VIỆC PHÂN VÙNG ẢNH VIỄN THĂM

Nguyễn Tu Trung¹, Ngô Hoàng Huy¹, Vũ Văn Thỏa², Đặng Văn Đức¹

¹Viện Công nghệ thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,

²Học Viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

nttrung@ioit.ac.vn, nhhuy@ioit.ac.vn, thoa236@gmail.com, dvduc@ioit.ac.vn

TÓM TẮT - Phân vùng ảnh viễn thám là vấn đề được các nhà nghiên cứu viễn thám quan tâm. Ảnh viễn thám có thể có nhiều kênh, độ phân giải rất cao. Có nhiều kỹ thuật phân vùng khác nhau như K-Means, C-Means, Watersed,... Trong đó, thuật toán K-Means được sử dụng và ứng dụng rất phổ biến cho việc phân vùng ảnh viễn thám. Tuy nhiên, khi phân vùng ảnh viễn thám kích thước lớn, tốc độ hội tụ của thuật toán vẫn rất chậm. Bài báo này trình bày một tiếp cận kết hợp thuật toán K-Means với kỹ thuật Wavelet cho việc khởi tạo tâm hiệu quả nhằm tăng tốc độ phân vùng ảnh viễn thám.

Từ khóa - Phân cụm, Phân vùng ảnh, kmeans, wavelet.

I. GIỚI THIỆU

Xử lý ảnh viễn thám nói chung và phân vùng ảnh (hay phân cụm) viễn thám nói riêng là vấn đề được nghiên cứu từ rất lâu và hiện tại vẫn đang được quan tâm. Phân cụm là một quy trình dùng để trích chọn những nét chính của các đối tượng nền bởi việc định nghĩa các vùng tương ứng. Nhiệm vụ của chức năng phân vùng ảnh là từ ảnh đa ban đầu, tiến hành xử lý và phân chia thành các vùng, các cụm khác nhau. Hiện nay, có nhiều phương pháp phân vùng khác nhau như: Các phương pháp hình thái, Các phương pháp họ K-means, Mô hình pha trộn Gaussian có giới hạn (FGMM), Tách và hợp, Các mô hình Markov,... Hầu hết các phương pháp chỉ sử dụng cường độ của mỗi điểm ảnh để định nghĩa các vùng, nhưng đưa ra các phân đoạn rất hỗn tạp, cụ thể với các ảnh đa phổ có độ phân giải cao. Hiện nay, một số thuật toán bao gồm thông tin ngữ cảnh trong quy trình để giảm bớt tính hỗn tạp của các phân đoạn. Trong đó một số thông tin ngữ cảnh của các phân đoạn này được trích chọn từ ảnh cũng được sử dụng.

Trong [1, 2], các tác giả đã đề xuất kỹ thuật phân cụm kết hợp thuật toán Watershed và biến đổi Wavelet để phân vùng ảnh. Trong [1], các tác giả cũng kết hợp giữa thuật toán phân cụm mờ và các biểu thức điều chỉnh mức xám khác để tăng cường độ ảnh y tế. Trong [2], các tác giả đã đề xuất thuật toán kMeans sử dụng thay thế tâm cụm. Trong [5], Balaji và cộng sự trình bày một phân đoạn ảnh mới dựa trên đặc trưng màu từ ảnh với việc chuyển điểm ảnh từ không gian RGB sang không gian L*a*b* và phân cụm trên không gian này. Trong [6], Ngô Thành Long và cộng sự đã đề xuất thuật toán phân loại mờ loại 2 bán giám sát để phân loại ảnh viễn thám đa phổ. Trong [7], Tao và cộng sự đề xuất một thuật toán phân đoạn ảnh vệ tinh dựa trên thuật toán phân cụm mờ có trọng số mới liên quan đến cửa sổ lân cận của các điểm ảnh. Ngoài ra, trong [8], Singh và các cộng sự cũng đề xuất thuật toán phân loại ảnh vệ tinh độ phân giải cao sử dụng phân cụm mờ dựa trên các ràng buộc phổ.

Thuật toán kMeans đã được sử dụng rất nhiều trong nghiên cứu và được cài đặt trong các phần mềm xử lý ảnh viễn thám. Tuy nhiên, khi phân vùng ảnh viễn thám kích thước lớn, tốc độ hội tụ của thuật toán vẫn rất chậm. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một cải tiến thuật toán phân cụm K-Means kết hợp thuật toán K-Means với kỹ thuật Wavelet cho việc khởi tạo tâm hiệu quả nhằm tăng tốc độ phân vùng ảnh viễn thám.

Các phần còn lại của bài báo này được trình bày như sau. Phần 2 trình bày thuật toán phân cụm kMeans. Thuật toán phân cụm kMeans cải tiến được trình bày trong phần 3. Một số thử nghiệm được trình bày trong phần 4. Phần 5 là kết luận bài báo.

II. THUẬT TOÁN PHÂN CỤM KMEANS

Thuật toán kMeans [3] bao gồm 4 bước, được trình bày như sau:

Bảng 1. Thuật toán kMeans cơ bản.

Đầu vào: n đối tượng và số cụm k
Đầu ra: Các cụm C_i ($i=1..k$) sao cho hàm mục tiêu E sau đây đạt cực tiểu:
$E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} d^2(x, m_i)$ (1)
Bước 1: Khởi tạo
Chọn k đối tượng C_j ($j=1..k$) là tâm ban đầu của k cụm dữ liệu đầu vào (lựa chọn ngẫu nhiên).
Bước 2: Gán tâm cụm theo khoảng cách
Với mỗi đối tượng x_i ($1 \leq i \leq n$), tính khoảng cách của nó tới mỗi tâm C_j với $j = 1..k$. Đối tượng thuộc về cụm C_S mà khoảng cách từ tâm C_S tương ứng đến đối tượng đó là nhỏ nhất.
$d(x, C_S) = \min d(x, C_j), 1 \leq j \leq k$ (2)

Bước 3: Cập nhật tâm cụm

Đối với mỗi $j = 1..k$, cập nhật lại tâm cụm C_j bằng cách xác định trung bình cộng của các vector đối tượng dữ liệu đã được gán về cụm.

$$C_j = \frac{\sum_{x \in \text{cluster}(j)} x}{\text{count}(\text{cluster}(j))} \quad (3)$$

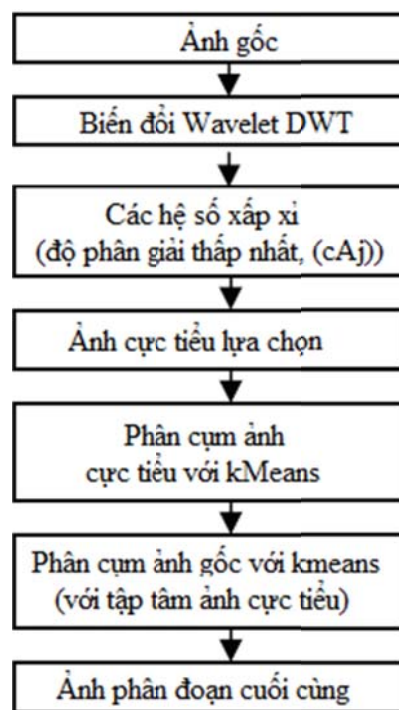
Bước 4: Lặp và kiểm tra điều kiện dừng

Lặp lại các bước 2 và 3 cho đến khi các tâm cụm không thay đổi giữa hai lần lặp liên tiếp.

Chúng ta thấy, trong bước 1, việc tâm cụm được tạo ngẫu nhiên ảnh hưởng đến tốc độ thuật toán. Trong một lần thực thi thuật toán, nếu các tâm chọn ngẫu nhiên tốt, giả sử gần với vị trí các tâm sau khi hội tụ, lúc này thời gian thực thi còn lại sẽ không nhiều. Tuy nhiên, nếu các tâm chọn ngẫu nhiên không tốt, chẳng hạn các tâm rất gần nhau, lúc này, sẽ mất rất nhiều thời gian để xác định các tâm sau hội tụ vì số lần lặp sẽ rất lớn. Đây chính là lý do mà các nhà nghiên cứu tìm cách sao cho tâm cụm khởi tạo được tốt nhất.

III. THUẬT TOÁN PHÂN CỤM KMEANS CẢI TIẾN

Trong phần này, chúng tôi đề xuất thuật toán phân cụm KMeans cải tiến cho ảnh viễn thám mà chúng tôi tạm gọi là wiKMeans (wavelet inited KMeans). Sơ đồ thuật toán được minh họa trong hình 1.



Hình 1. Lưu đồ thuật toán wiKMeans.

B1: Biến đổi wavelet

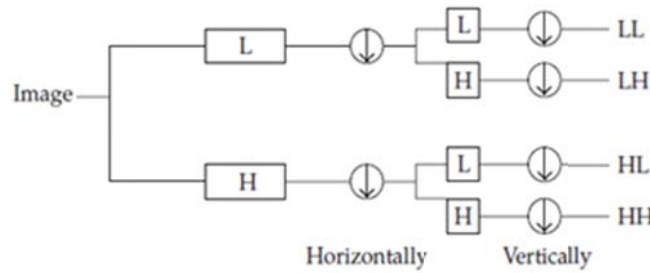
Sử dụng biến đổi wavelet để giảm kích thước ảnh.

Biến đổi sóng nhỏ (*Wavelet*) là công cụ toán học hay được sử dụng vào việc biểu diễn ảnh đa độ phân giải. Sau khi thực hiện phép biến đổi ta thu được tập hệ số *Wavelet*, là hàm co giãn và vị trí của sóng nhỏ. Biến đổi sóng nhỏ có thể được biểu diễn tương tự như biến đổi *Fourier*, như sau:

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{j\omega t} dt$$

$$C(\text{scale}, \text{position}) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\varphi(\text{scale}, \text{position}, t) dt \quad (4)$$

Với tín hiệu số như ảnh viễn thám, thì tập hệ số *Wavelet* có thể thu được nhờ phép biến đổi sóng nhỏ rời rạc (*Discrete Wavelet Transform - DWT*). Với phần lớn ảnh số thì nội dung tần số thấp là quan trọng nhất, giữ được hầu như các đặc tính của ảnh đầu vào của phép biến đổi với kích thước giảm bốn lần. Sau khi áp dụng bộ lọc thông thấp theo hai hướng (LL) ta thu được ảnh xấp xỉ (cA_1) của ảnh gốc. Nếu áp dụng bộ lọc thông thấp cho chiều ngang và bộ lọc thông cao cho chiều dọc ảnh (LH) ta có tập hệ số ngang (cH_1) của ảnh gốc. Tương tự ta có tập hệ số dọc (cV_1) và tập hệ số chéo (cD_1). Lặp tiến trình trên bằng con (LL) để sinh ra các hệ số ở mức 2 tiếp theo. Hình 2 mô tả DWT ảnh theo thuật toán hình kim tự tháp của Mallat [4].



Hình 2. Biến đổi ảnh với Wavelet.

Vậy, ảnh gốc S được biểu diễn trên cơ sở các hệ số biến đổi sóng con của nó như sau:

$$S = cA_1 + \{cH_1 + cV_1 + cD_1\} \tag{5}$$

Thực hiện lặp tiến trình cho đến khi mức độ chi tiết là mẫu hay pixel. Tại mức J, ảnh gốc được biểu diễn bởi:

$$S = cA_J + \sum_{i=1}^J \{cH_i + cV_i + cD_i\} \tag{6}$$

Các hệ số xấp xỉ được tính toán như sau:

$$cA_{j-1} = cA_j + (cH_j + cV_j + cD_j) \tag{7}$$

Mỗi lần thực hiện phân rã wavelet, kích thước của ảnh xấp xỉ cA_j giảm đi bốn lần so với lần thực hiện trước đó (mỗi chiều giảm xuống một nửa). Như vậy, giả sử chúng ta phân rã 3 mức cho ảnh đầu vào, ta thu được ảnh xấp xỉ có kích thước giảm xuống 64 lần.

B2: Phân cụm KMeans ảnh cực tiểu

Tiến hành phân cụm ảnh xấp xỉ cực tiểu lựa chọn với thuật toán KMeans. Sau khi đã phân cụm tất cả các ô, ta được tập tâm cụm như sau:

$$V_{mit} = \{v_k, 1 \leq k \leq c\} \tag{8}$$

B3: Phân cụm k-means ảnh gốc

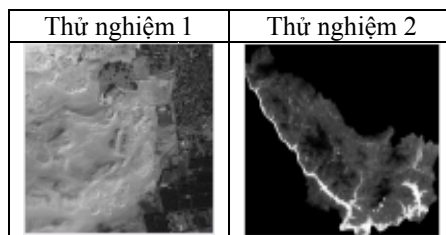
Thực hiện phân việc phân cụm ảnh gốc với thuật toán KMeans với tập tâm cụm khởi tạo V_{mit} thu được trong B2.

IV. THỬ NGHIỆM

Chúng tôi tiến hành thử nghiệm thuật toán đề xuất wiKMeans và so sánh kết quả với thuật toán Kmeans đã được sử dụng phổ biến cho phân vùng ảnh viễn thám. Giả sử ảnh đầu vào có kích thước $M \times N$ điểm ảnh. Chúng tôi thực hiện phân rã wavelet 3 mức với hàm nhân là Biorthogonal. Như vậy, ảnh xấp xỉ cực tiểu chúng tôi chọn có kích thước $M/8 \times N/8$ điểm ảnh.

Trong thử nghiệm 1, ảnh gốc là ảnh vệ tinh Quickbird được tải từ dữ liệu mẫu trên trang <http://opticks.org>. Trong thử nghiệm 2, ảnh gốc là ảnh vệ tinh LANSAT về huyện Đà Bắc thuộc tỉnh Hoà Bình, được lấy trong tập ảnh LANDSAT mà nhóm tác giả có được khi tham gia thực hiện đề tài “Phát triển phần mềm xử lý ảnh viễn thám trên nền phần mềm GRASS”. Bảng 2 minh họa ảnh đầu vào trong các thử nghiệm 1 và 2.

Bảng 2. Các ảnh đầu vào trong thử nghiệm 1 và 2.

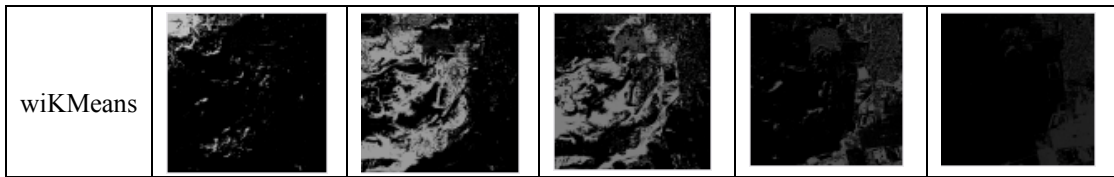


A. Thử nghiệm 1

Bảng 3 mô tả ảnh kết quả phân cụm của thuật toán Kmeans và wiKmeans trong trường hợp 5 cụm.

Bảng 3. Kết quả phân loại của KMeans và wiKMeans.

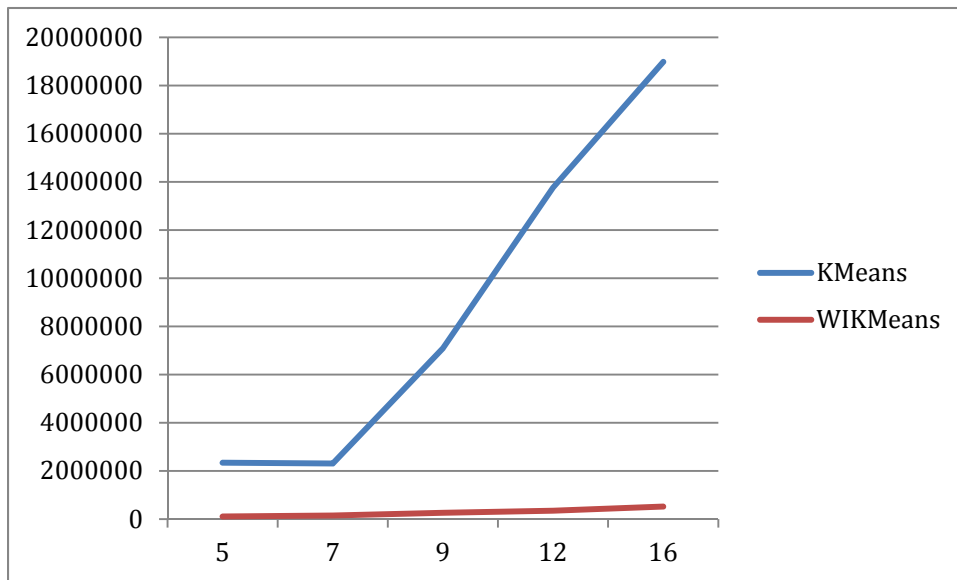
Cụm số	1	2	3	4	5
KMeans					



Bảng 4 thống kê thời gian phân cụm của thuật toán Kmeans và wiKmeans. Hình 3 đưa ra biểu đồ so sánh thời gian phân cụm giữa thuật toán Kmeans và wiKmeans.

Bảng 4. So sánh thời gian phân của KMeans và wiKMeans.

Thuật toán	5	7	9	12	16
KMeans	2339797	2309922	7092406	13765729	18985531
WIKMeans	39656	107622	134891	247828	306203



Hình 3. Biểu đồ so sánh thời gian phân cụm của KMeans và wiKMeans.

Bảng 5, 6 đưa ra thống kê độ phân tách các cụm thông qua khoảng cách các tâm của wiKMeans và KMeans trong trường hợp 5 cụm. Chúng ta thấy độ khoảng cách giữa các cụm sinh ra từ wiKMeans và Kmeans có độ sai khác nhau không nhiều thể hiện chất lượng phân cụm có độ tương đồng cao.

Bảng 5. Khoảng cách giữa các tâm sinh ra từ wiKMeans.

	1	2	3	4	5
1	0	67.62	112.240	178.03	239.33
2		0	47.15	112.83	171.41
3			0	69.08	128.22
4				0	70.87
5					0

Bảng 6. Khoảng cách giữa các tâm sinh ra từ KMeans.

	1	2	3	4	5
1	0	67.05	111.557	179.38	240.52
2		0	45.04	113.39	172.52
3			0	68.37	127.47
4				0	68.18
5					0

B. Thử nghiệm 2

Bảng 7 mô tả ảnh kết quả phân cụm của thuật toán Kmeans và wiKMeans trong trường hợp 5 cụm.

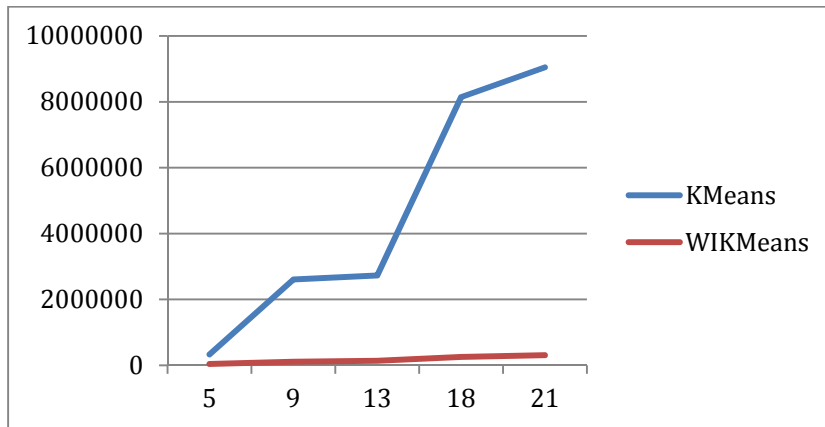
Bảng 7. Ảnh đầu vào và kết quả phân cụm.

Số cụm	5	9	13	18	21
KMeans					
wiKMeans					

Bảng 8 thống kê thời gian phân cụm của thuật toán Kmeans và wiKmeans. Hình 4 đưa ra biểu đồ so sánh thời gian phân cụm giữa thuật toán Kmeans và wiKmeans.

Bảng 8. So sánh thời gian phân của KMeans và wiKMeans.

Thuật toán	5	9	13	18	21
KMeans	329453	2602187	2724187	8146656	9046766
WIKMeans	39656	108172	135291	250328	306703



Hình 4. Biểu đồ so sánh thời gian phân cụm của KMeans và wiKMeans.

Bảng 9, 10 đưa ra thống kê độ phân tách các cụm thông qua khoảng cách các tâm của wiKMeans và KMeans trong trường hợp 5 cụm. Chúng ta thấy độ khoảng cách giữa các cụm sinh ra từ wiKMeans và Kmeans có độ sai khác nhau không nhiều thể hiện chất lượng phân cụm có độ tương đồng cao.

Bảng 9. Khoảng cách giữa các tâm sinh ra từ cwKMeans.

	1	2	3	4	5
1	0	108.15	195.56	117.01	367.32
2		0	94.22	37.83	265.87
3			0	88.5	170.98
4				0	250.25
5					0

Bảng 10. Khoảng cách giữa các tâm sinh ra từ KMeans.

	1	2	3	4	5
1	0	107.68	196.19	115.72	366.51
2		0	95.46	38.74	265.52
3			0	90.3	171.45
4				0	249.39
5					0

Từ bảng 4 và hình 3 trong thử nghiệm 1 cũng như bảng 7 và hình 4 trong thử nghiệm 2, chúng ta có thể thấy thời gian để hoàn thành việc phân cụm của thuật toán đề xuất wiKMeans nhỏ hơn rất nhiều so với thuật toán KMeans. Ngoài ra, khi số cụm tăng lên, thời gian thực thi thuật toán KMeans tăng lên rất nhanh chóng, trong khi thời gian thực thi thuật toán wiKMeans tăng rất ít.

V. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã đề xuất thuật toán wiKMeans với mục tiêu tăng tốc độ phân vùng ảnh viễn thám. Đầu tiên, ảnh được giảm kích thước sử dụng kỹ thuật phân rã wavelet. Sau đó, tiến hành phân cụm ảnh xấp xỉ với cực tiểu lựa chọn (kích thước nhỏ nhất được chọn) với thuật toán KMeans để thu được tập các tâm cụm. Tiếp đó, chúng ta sử dụng thuật toán KMeans để phân cụm ảnh gốc ban đầu với các tâm khởi tạo là các tâm thu được từ kết quả phân cụm ảnh cực tiểu lựa chọn. Các kết quả thử nghiệm cho thấy thời gian phân cụm sử dụng wiKMeans giảm xuống rất nhiều so với thuật toán KMeans. Ngoài ra, độ phân tách giữa các cụm với đại diện là khoảng cách giữa các cụm là khá tương đồng.

VI. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.E. Hasaniien, A. Badr, A Comparative Study on Digital Mamography Enhancement Algorithms Based on Fuzzy Theory, Studies in Informatics and Control, Vol.12, No.1, March 2003.
- [2] Chih-Tang Chang và cộng sự, “A Fuzzy K-means Clustering Algorithm Using Cluster Center Displacement”, JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING 27, 2011, pp. 995-1009.
- [3] <http://www.onmyphd.com/?p=k-means.clustering>.
- [4] S.G.Mallat “A theory for multi resolution signal decomposition, the wavelet representation”. IEEE transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence, 11(7): 674-693, 1989.
- [5] T. Balaji, M. Sumathi, “Relational Features of Remote Sensing Image Classification using Effective K-Means Clustering”, International Journal of Advancements in Research & Technology, Volume 2, Issue 8, August-2013, pp. 103-107.
- [6] Ngo L. T., Mai, D. S., Pedrycz W., Semi-supervising Interval Type-2 Fuzzy C-Means clustering with spatial information for multi-spectral satellite image classification and change detection. Computers & Geosciences, 2015, 83, 1-16.
- [7] Rao P. M. & Kattaswamy M., SATELLITE IMAGE CLASSIFICATION BASED ON FUZZY CLUSTERING, 2013.
- [8] Singh P. P. & Garg R. D.. Classification of high resolution satellite images using spatial constraints-based fuzzy clustering. Journal of Applied Remote Sensing, 2014.

A IMPROVING OF CLUSTER CENTER INITIALIZATION OF KMEANS ALGORITHM TO SEGMENT THE REMOTE SENSING IMAGES

Nguyen Tu Trung, Ngo Hoang Huy, Vu Van Thoa, Dang Van Duc

ABSTRACT - Remote sensing image clustering is the issue that is interested by remote sensing researchers. Remote sensing image can have multi bands and high resolution. There are multi algorithms as K-Means, C-Means, Watersed, ... Wherein, KMeans is used popu commonly to segment remote sensing images. However, when clustering large size remote sensing images, the converging speed of the algorithm is still slow. This paper present a technique which combines the algorithm K-Means and Wavelet technique for initializing centers effectively to speed up clustering of remote sensing images.