

Μέθοδοι προσδιορισμού του 11ετούς ηλιακού κύκλου και άλλων περιοδικοτήτων με τη χρήση υπολογιστικού προγράμματος(Matlab).

Αθανάσιος Κουλουμβάκος
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής
Αστρονομική Εταιρεία Πάτρας «Ωρίων»
rhy4033@upnet.gr

Θέμα

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να επιδείξει ορισμένες από τις βασικότερες μεθόδους προσδιορισμού του 11ετούς ηλιακού κύκλου στο κοινό της ερασιτεχνικής αστρονομίας οι οποίες βασίζονται στην ανάλυση του αριθμού Wolf με διάφορους αλγορίθμους. Ωστόσο ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει να διαπιστώσουμε από μόνοι μας τον 11ετή κύκλο και να δούμε τη συμβαίνει με της μικρότερες ή μεγαλύτερες περιόδους που υπάρχουν. Η βασική ιδέα της παρουσίασης των μεθόδων αυτών είναι η εξοικείωση των ερασιτεχνών αστρονόμων με τη χρησιμοποίηση αλγορίθμων έτσι ώστε να είναι σε θέση αναλύοντας τα δεδομένα που τους παρέχονται από τα διάφορα ηλιακά παρατηρητήρια να γνωρίζουν πως μπορούν να προσδιορίσουν την περίοδο όχι μόνο της εμφάνισης των κηλίδων αλλά και άλλων φαινομένων που εμφανίζονται στον ήλιο. Τέλος αξίζει να αναφέρουμε ότι η ανάλυση των δεδομένων δεν περιέχει πολύπλοκες μαθηματικές μεθόδους έτσι ώστε να είναι κατανοητή στο ευρύ κοινό.

Τα δεδομένα μας:

Τα δεδομένα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε για την ανάλυση των περιοδικοτήτων της εμφάνισης των κηλίδων είναι δυο ειδών. Το ένα αρχείο περιλαμβάνει το μέσο όρο του αριθμού wolf ανά έτος και από αυτό το σημείο και έπειτα θα το ονομάζουμε yearssn και ένα δεύτερο αρχείο το οποίο περιλαμβάνει το μέσο όρο

του αριθμού wolf ανά μήνα και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτό ως monthssn. Με μια πρώτη εκτίμηση των δεδομένων μας παρατηρούμε ότι ο αριθμός Wolf σε συνάρτηση με τον χρόνο δεν έχει σταθερή δομή εννοώντας το πλάτος του φυσικά οπότε δεν θα αρκестούμε μόνο στην ανάλυση της περιόδου του φαινομένου αλλά θα προσπαθήσουμε να δούμε πως η περίοδος αυτή μπορεί να μεταβάλλεται χρονικά. Όσον αφορά βέβαια αυτά τα διαστήματα ασυμμετρίας του πλάτους του αριθμού wolf οι επιστήμονες τους έχουν δώσει και χαρακτηριστικές ονομασίες. Για τις χρονολογίες μεταξύ του 1680 έως 1712 η περίοδος αυτή αντιστοιχεί στο τέλος της εποχής Maunder όπου έχουμε χαμηλή ηλιακή δραστηριότητα. Επίσης άλλη μια χρονολογική περίοδος με χαμηλή δραστηριότητα είναι αυτή του Dalton η οποία αρχίζει το 1790 και τελειώνει το 1820. Ωστόσο δεν μας ενδιαφέρουν μόνο οι περιόδους χαμηλής δραστηριότητας αλλά μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον έχουν και οι περίοδοι υψηλής δραστηριότητας όπως αυτή που αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως Modern maximum όπου αρχίζει από το 1950 και διαρκεί έως σήμερα.

Μέθοδος 1(ανάλυση μέσω αλγορίθμου)

Γενικά: υποθέτουμε ότι θέλουμε να μελετήσουμε τις περιοδικότητες της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων με έναν αλγόριθμο για τα τελευταία 330 χρόνια. Ξέρουμε ήδη ότι η δραστηριότητα των κηλίδων είναι περιοδική και φτάνει σε ένα μέγιστο κάθε 11/2 χρόνια. Οι αστρονόμοι για να επιτύχουν το προσδιορισμό του κύκλου έχουν ορίσει μια ποσότητα την οποία την έχουν ονομάσει αριθμό Wolfer. Ο ημερήσιος αριθμός κηλίδων πάνω στην φωτόσφαιρα του ήλιου μας δίνει αρκετά πιστά την εικόνα της ηλιακής δραστηριότητας. Ωστόσο σπουδαίο ρόλο παίζει και η παρουσία ή όχι ομάδων κηλίδων στη φωτόσφαιρα του ήλιου. Για αυτό το λόγο πριν από 100 χρόνια περίπου ο Wolf πρότεινε η ηλιακή δραστηριότητα να εκφράζεται από το συνδυασμό του αριθμού f των μεμονωμένων κηλίδων και του αριθμού g των ομάδων των κηλίδων της φωτόσφαιρας όπου στο g να δίνεται στατιστικό βάρος 10. έτσι προέκυψε ο αριθμός του Wolf $R=k(10g+f)$ ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα. Η σταθερά κ εξαρτάται από το όργανο παρατήρησης τον παρατηρητή και τις συνθήκες παρατήρησης. Ο αριθμός αυτός έχει προσδιοριστεί επακριβώς για τα τελευταία 300 χρόνια και μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για τον αριθμό και το μέγεθος των κηλίδων.

Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο παρακάτω.

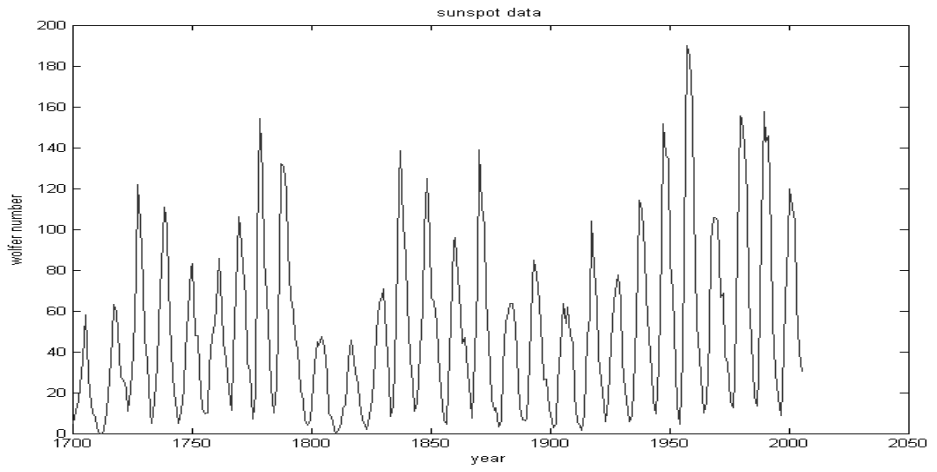
Αλγόριθμος 1:

```
function spectradata=f(x)
figure
load yearssn
n=1:306
year=yearssn(n,1)
wolfer=yearssn(n,2)
plot(year,wolfer)
xlabel('year')
ylabel('wolfer number')
title('sunspot data')
figure
y=fft(wolfer)
N = length(y);
y(1) = []; →
power = abs(y(1:N/2)).^2;
nyquist = 1/2;
freq = (1:N/2)/(N/2)*nyquist;
plot(freq,power)
xlabel('cycles/year')
title('Periodos')
figure
period = 1./freq;
plot(period,power), axis([0 40 0
2e7])
ylabel('Power')
xlabel('Period(Years/Cycle)')
save filename power
end
```

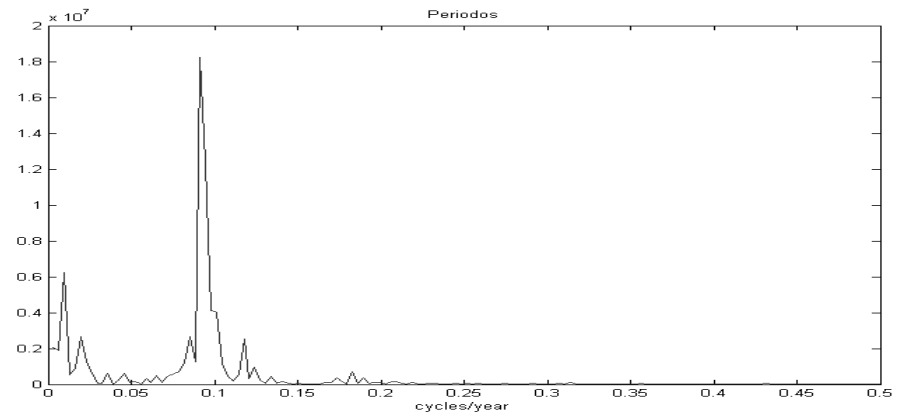
Στον αλγόριθμο αυτό φορτώνουμε τα δεδομένα για τον αριθμό Wolfer των τελευταίων 306 χρόνων ο οποίος στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει μια μέση τιμή του αριθμού Wolfer για κάθε χρόνο και όχι για κάθε μέρα όπως θα περιμέναμε. Από τα δεδομένα που φορτώσαμε προσπαθούμε να εξάγουμε πληροφορία για την περιοδικότητα της εμφάνισης των κηλίδων. Αυτό το καταφέρνουμε κάνοντας μετασχηματισμό Fourier στα δεδομένα. Το αποτέλεσμα αυτού του μετασχηματισμού είναι ένα μιγαδικό διάνυσμα Ψ . Το τετράγωνο του μέτρου του Ψ είναι η ένα μέγεθος το οποίο ονομάζεται ισχύς του αριθμού Wolfer και όταν αυτή αναπαρίσταται σε σχέση με την συχνότητα τότε το παραγόμενο διάγραμμα ονομάζεται περιοδογράφημα. Από αυτή τη γραφική παράσταση μπορούμε να βρούμε την περίοδο του ηλιακού κύκλου παρατηρώντας που βρίσκεται το μέγιστο της καμπύλης. Βέβαια το μέγιστο μπορούμε να το βρούμε και με περισσότερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας κάποια έτοιμη συνάρτηση του προγράμματος που κάνει αυτή τη δουλειά. Πιο συγκεκριμένα η εντολή που θα χρησιμοποιήσουμε στον αλγόριθμό μας για αυτό το σκοπό είναι η εξής:

```
[mp,index] = max(power);  
period(index)
```

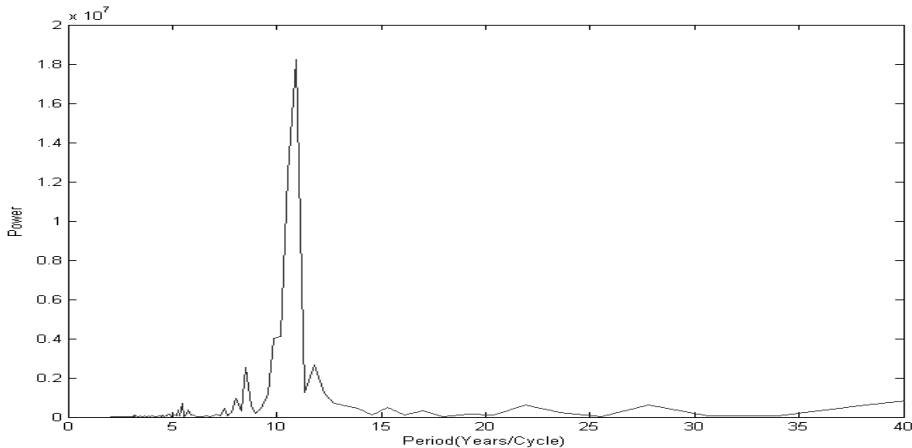
Η εντολή αυτή για τα συγκεκριμένα δεδομένα δίνει ως αποτέλεσμα την χρονική διάρκεια του μεγίστου κύκλου $ans = 11.0769$.



Γράφημα 1 (year,wofler)



Γράφημα 2 (freq,power)



Γράφημα 3 (period,power)

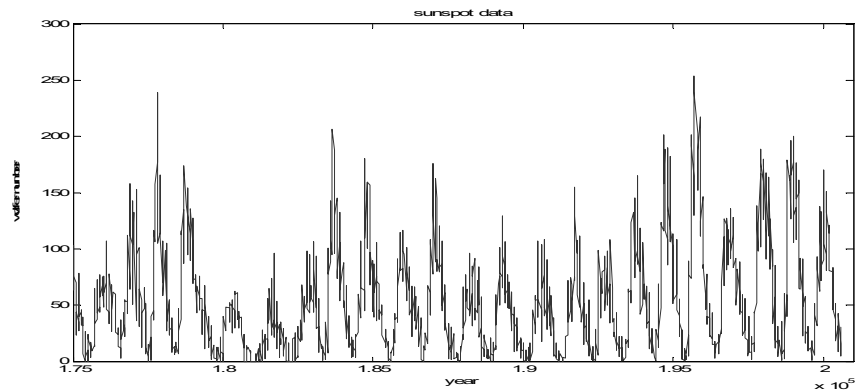
Αλγόριθμος 2

<pre>function spectradata=f(x) load monthssn n=1:3082 year=monthssn(n,1) wolfer=monthssn(n,2) plot(year,wolfer) xlabel('year') ylabel('wolfer number') title('sunspot data') figure y=fft(wolfer) N = length(y); y(1) = []; power = abs(y(1:N/2)).^2;</pre>	<pre>figure nyquist = 12/2; freq = (1:N/2)/(N/2)*nyquist; plot(freq,power) xlabel('cycles/year') title('Periodos') figure period = 1./freq; plot(period,power), axis([0 40 0 2e7]) ylabel('Power') xlabel('Period(Years/Cycle)') save filename power end</pre>
---	--

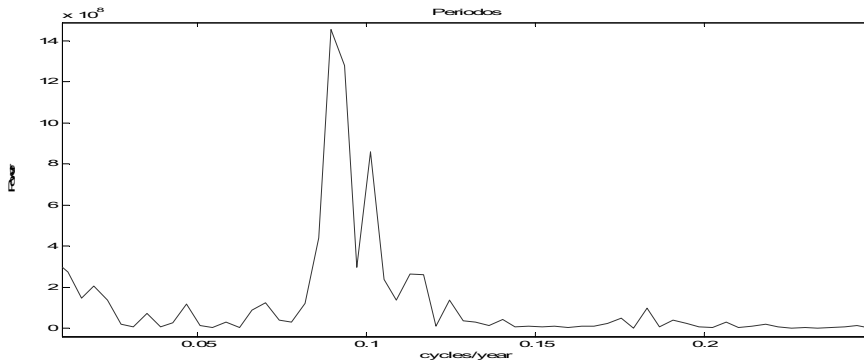
Όπως είδαμε στα διαγράμματα του προηγούμενου αλγορίθμου η θεωρητική τιμή που ξέρουμε για τον ηλιακό κύκλο συμπίπτει σχεδόν με τον δικό μας υπολογισμό παρότι χρησιμοποιήσαμε τη μέση τιμή του αριθμού wolfer για κάθε έτος. Το συμπέρασμα αυτό εξάλλου είναι αναμενόμενο διότι πρακτικά η χρησιμοποίηση της μέσης τιμής του αριθμού wolfer δεν αλλοιώνει την κύρια μορφή της καμπύλης του κύκλου. Ωστόσο τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τον αλγόριθμο 1 μας δημιουργούν πρόβλημα στην περίπτωση που θέλουμε να διαπιστώσουμε αν υπάρ-

χουν κάποιοι κύκλοι πέραν του 11ετούς. Αν βέβαια θέλουμε να προχωρήσουμε την ανάλυσή μας με σκοπό την ταυτοποίηση περισσότερων κύκλων θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε δεδομένα που να περιέχουν τον αριθμό wolfger για κάθε μήνα.

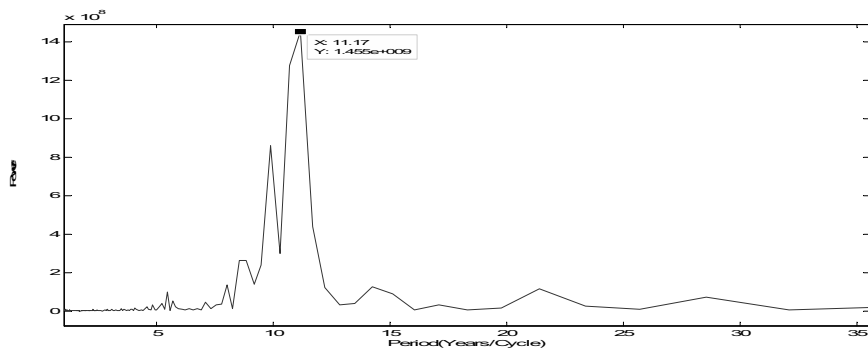
Εξετάζοντας λίγο πιο διεξοδικά τον νέο μας αλγόριθμο είναι άξιο προσοχής το σημείο του αλγορίθμου που αφορά τη τιμή της μεταβλητής nyquist. Ουσιαστικά το μέρος αυτό είναι μια από τις ελάχιστες διαφοροποιήσεις του αλγορίθμου 1 από τον 2 και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα σε αυτό γιατί η λάθος επιλογή της τιμής του nyquist θα έχει ως αποτέλεσμα να εκτιμήσουμε λάθος τη περίοδο των κηλίδων. Γενικότερα για ένα διακριτό σύνολο μετρήσεων υπάρχει ένα ανώτατο όριο της συχνότητας στο οποίο μπορούμε να πούμε ότι η πληροφορία για της περιοδικότητες στα δεδομένα είναι αξιοποιήσιμη. Η μέγιστη συχνότητα η οποία μπορεί έξοχα να ταιριάζει στα δεδομένα μας ονομάζεται συχνότητα Nyquist και είναι ισοδύναμη με ένα κύκλο κάθε δύο επιτυχείς μετρήσεις (1cycle/2measurements). Αυτό είναι λογικό αρκεί να σκεφτούμε ότι δεν μπορούμε να πάρουμε πληροφορία σχετικά με τις περιοδικότητες των δεδομένων μας σε συχνότητες μεγαλύτερες (ή αντίστοιχα περιόδους μικρότερες) από το ρυθμό της δειγματοληψίας μας. Για παράδειγμα στα δεδομένα του δεύτερου αλγορίθμου μας ένας κύκλος μπορεί να ισοδυναμεί με ένα μήνα οπότε η συχνότητα Nyquist είναι 0.5 Cycle/month. Σε αυτή τη περίπτωση μπορούμε να προσδιορίσουμε περιοδικότητες μόνο από τον ένα μήνα στον άλλο ενώ παράλληλα στο διάγραμμα της περιόδου θα έχουμε για τον άξονα χ τιμές Cycle/month. Ωστόσο αν εμείς θέλουμε στον άξονα χ να έχουμε cycle/year αρκεί να μετατρέψουμε τους μήνες σε χρόνια οπότε ο αριθμός θα γίνει Nyquist=12/2 Τα δεδομένα αυτά τα επεξεργαζόμαστε με τον νέο μας αλγόριθμο και εξαγάμε τα νέα μας αποτελέσματα.



Γράφημα 1 (year,wolfer)



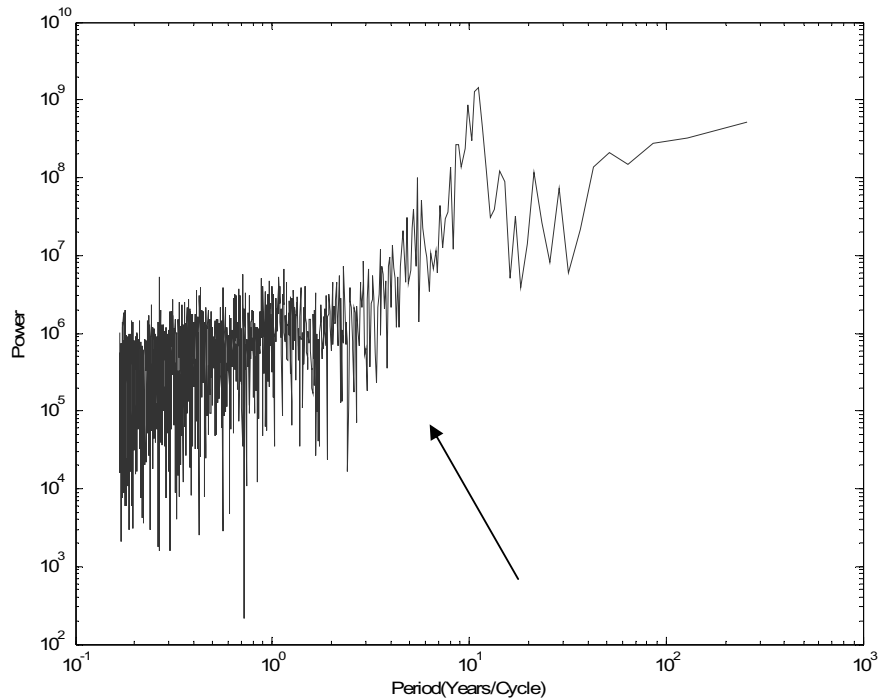
Γράφημα 2 (freq,power)



Γράφημα 3 (period,power)

Χρησιμοποιώντας πάλι την έτοιμη συνάρτηση για την εύρεση του μεγίστου της καμπύλης στο γράφημα 3 βρίσκουμε ότι ο ηλιακός κύκλος έχει περίοδο $ans = 11,1667$ χρόνια.

Βέβαια το διάγραμμα 3 αν και είναι αρκετά κατατοπιστικό για την εύρεση του κύριου κύκλου ωστόσο δεν είναι καθόλου εύχρηστο για τον εντοπισμό άλλων μικρότερων περιοδικοτήτων που πιθανών να υπάρχουν. Γι αυτό το λόγο μετατρέπουμε τους άξονες του διαγράμματος σε log-log έτσι ώστε να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε όλη την πληροφορία που έχει. Την μετατροπή αυτή των αξόνων μπορούμε να την πραγματοποιήσουμε πολύ εύκολα με το μαθηματικό πρόγραμμα που διαθέτουμε. Στο διάγραμμα 4 φαίνεται το νέο διάγραμμα με τους τροποποιημένους άξονες.



Γράφημα 4

Στο διάγραμμα αυτό ένα έμπειρο μάτι είναι ικανό να εντοπίσει εκτός από τους μεγάλης περιόδου κύκλους οι οποίοι διακρίνονται πολύ καθαρά, και άλλους κύκλους μικρότερης περιόδου στην περιοχή του γραφήματος που είναι συσσωρευμένα τα δεδομένα για τους κύκλους μικρότερης περιόδου. Ωστόσο επειδή χρειαζόμαστε μια πιο ακριβή εικόνα για τους κύκλους τους οποίους δεν μπορούμε να διακρίνουμε καθαρά θα χρησιμοποιήσουμε μια μέθοδο που ονομάζεται Smoothing And Fitting και θα την περιγράψουμε παρακάτω. Το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε περιέχεται στο matlab.

Smoothing and Fitting:

Η μέθοδος Smoothing περιλαμβάνει τις εξής μεθόδους για την τροποποίηση των δεδομένων:

- Moving average — filter the data by calculating an average.
- Lowess — Locally weighted scatter plot smooth using linear least squares fitting and a first-degree
- polynomial.Loess — Locally weighted scatter plot smooth using linear least

squares fitting and a second-degree

- polynomial.Savitzky-Golay – Filter the data with an unweighted linear least squares fit using a polynomial of the specified degree.
- Robust Lowess – Lowess method that is resistant to outliers.
- Robust Loess – Loess method that is resistant to outliers.

Εμείς θα ασχοληθούμε μόνο με την πρώτη από αυτές το moving average δηλαδή. Ένα moving average φίλτρο εξομαλύνει τα δεδομένα αντικαθιστώντας κάθε σημείο με ένα νέο το οποίο έχει τιμή της συντεταγμένης του ίση με τον μέσο όρο των τιμών των γειτονικών του σημείων που έχουν καθοριστεί πόσα θα είναι με ένα αριθμό που ονομάζεται span. Αυτή τη διαδικασία αν θέλαμε να την αποδώσουμε υπολογιστικά θα είχαμε την εξής εξίσωση.

$$y_s(i) = \frac{1}{2N+1} (y(i+N) + y(i+N-1) + \dots + y(i-N))$$

όπου $y_s(i)$ είναι η ομαλή τιμή για το i σημείο, N είναι ο αριθμός των γειτονικών σημείων σε κάθε πλευρά του $y_s(i)$ και $2N+1$ είναι ο αριθμός Span ορίζουμε εμείς. Για παράδειγμα υποθέτουμε ότι χρησιμοποιούμε το Moving average filter για κάποια σημεία έχοντας ορίσει το span να είναι ίσο με 5. Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο για τα 5 πρώτα δεδομένα μας θα έχουμε τις εξής τιμές για την συντεταγμένη y του καθενός.

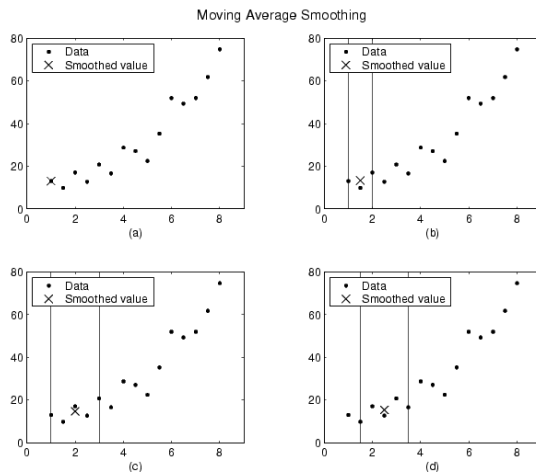
$$y_s(1) = y(1)$$

$$y_s(2) = (y(1)+y(2)+y(3))/3$$

$$y_s(3) = (y(1)+y(2)+y(3)+y(4)+y(5))/5$$

$$y_s(4) = (y(2)+y(3)+y(4)+y(5)+y(6))/5$$

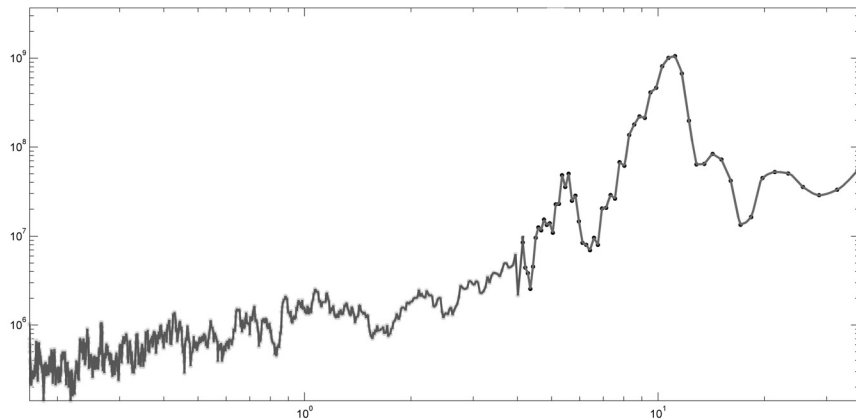
αποδίδοντας γραφικά την παραπάνω διαδικασία θα έχουμε.



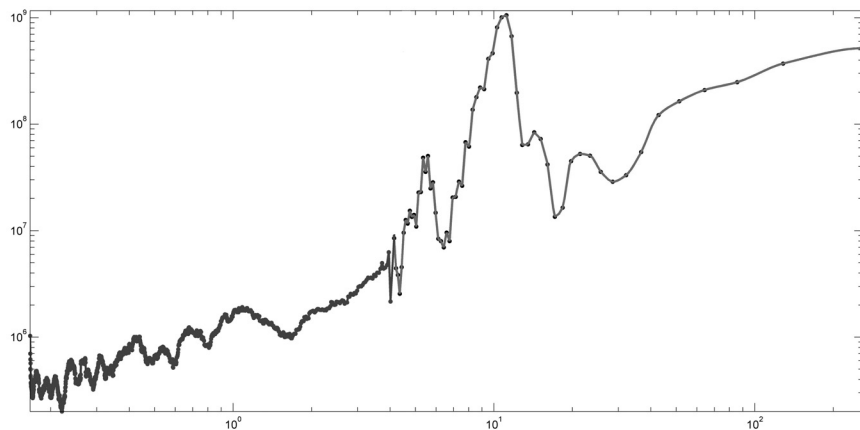
Για τα δεδομένα που έχουμε θα χρησιμοποιήσουμε όπως είπαμε την Average

Method για να κάνουμε την εξομάλυνση. Ωστόσο κατά την επεξεργασία των δεδομένων επειδή η επιλογή ενός αρκετά μεγάλου span θα έχει ως αποτέλεσμα από την μια να μας “δείξει” τους μικρότερους κύκλους αλλά από την άλλη θα επηρεάσει σημαντικά την μορφή των μεγαλύτερων περιόδων πράγμα που δεν το θέλουμε θα μοιράσουμε στα δυο τα δεδομένα μας και θα τα επεξεργαστούμε με δυο διαφορετικές τιμές του. Για της μικρές περιόδους ορίζουμε το span ίσο με 11 ή 42 ενώ για τις μεγαλύτερες ίσο με 3.

A) Smoothing 11,3 points span with Average Method



B) Smoothing 42,3 points span with Average Method

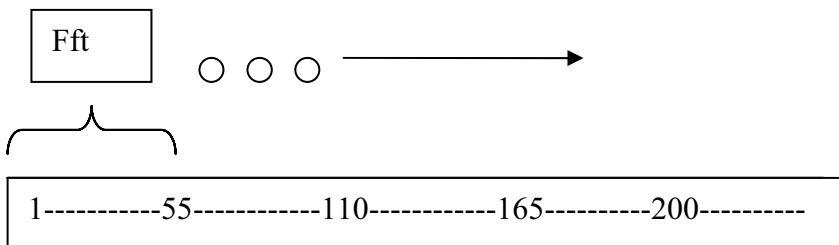


Στα παραπάνω διαγράμματα έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής. Ο 11ετής ηλιακός κύκλος φαίνεται πολύ καθαρά στο διάγραμμα. Για τους κατώτερους κύκλους βρίσκουμε τις περιόδους και τις συγκρίνουμε με τις θεωρητικές τιμές που δίνονται στην βιβλιογραφία.

Παρατηρούμενη Περίοδος (χρόνια)	Θεωρητική τιμή
11.16	11
5.83	5.5
2.15	2.0
1.07	1
0.70	0.67
0.54	0.5
0.43	0.4

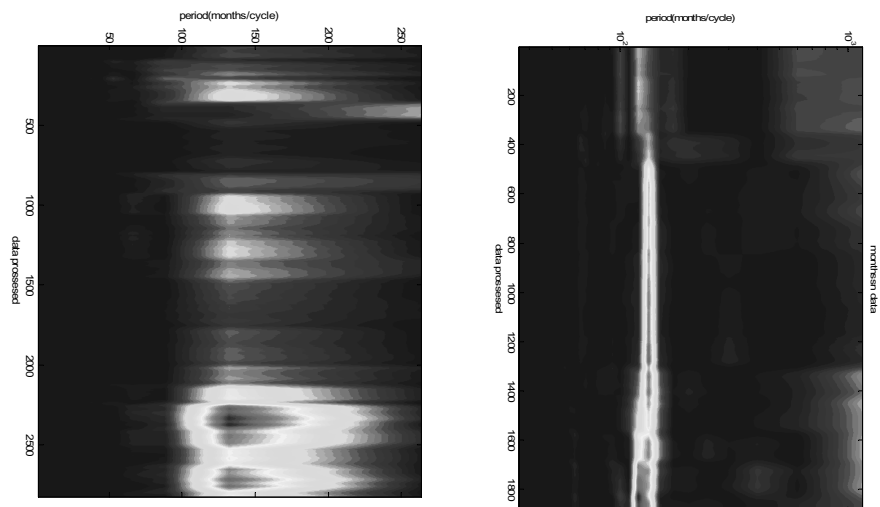
Κυλιόμενος Μετασχηματισμός Fourier:

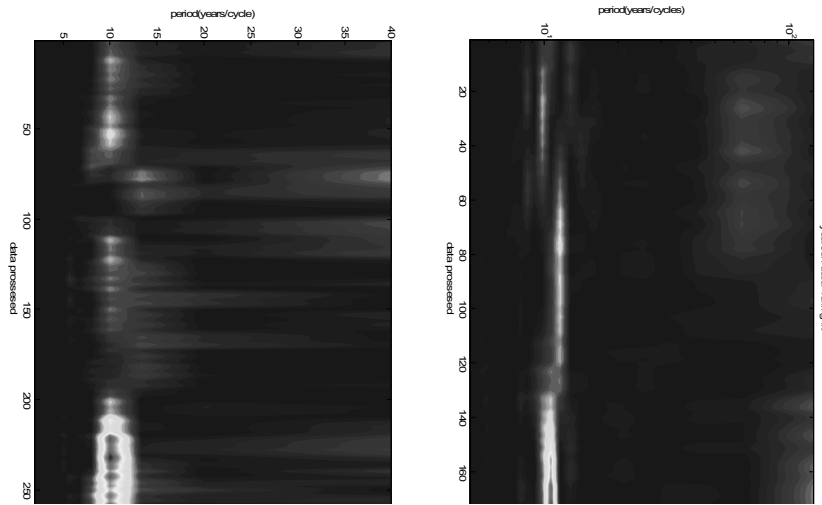
Σε αυτό το στάδιο θα χρησιμοποιήσουμε ένα εντελώς νέο αλγόριθμο ο οποίος δεν μας δίνει μόνο πληροφορία για τη περιοδικότητα του αριθμού wolfer αλλά μας δείχνει και πως μπορεί να εξελίσσεται χρονικά το φαινόμενο ανάλογα με τα δεδομένα που εξετάζουμε κάθε φορά. Σύμφωνα και με τις παραπάνω αναλύσεις μας πλέον ξέρουμε ότι ο βασικότερος κύκλος είναι ο 11ετης οπότε από το σημείο αυτό και έπειτα δεν μας ενοχλεί καθόλου να θεωρήσουμε ότι ο ένας κύκλος είναι 11 χρόνια. Για να γίνουμε λίγο πιο σαφείς θα μελετήσουμε λίγο πιο προσεκτικά τα μέρη αυτού του αλγορίθμου. Διαλέγουμε τα δεδομένα τα οποία θέλουμε να επεξεργαστούμε. Έπειτα με ένα βρόχο επανάληψης αφού υπολογίζουμε αρχικά τη περίοδο του αριθμού wolfer με fast fourier transform για τους 5 πρώτους 11ετες κύκλους συνεχίζουμε την διαδικασία αυτή κυλιόντας κάθε φορά την επεξεργασία μας κατά ένα δεδομένο μέχρι να έχουμε σαρώσει όλα μας τα δεδομένα (σχ.Α). Τέλος απεικονίζουμε σε επιφάνεια όλες αυτές της περιόδους των αλληπάλληλων fft για να μπορέσουμε να εξαγάγουμε τα συμπεράσματά μας. Ωστόσο η ανάλυση αυτή δεν μας δίνει καμία επιπλέον πληροφορία για τους κύριους κύκλους που παρατηρήσαμε παραπάνω αλλά είναι μια πολύ καλή μέθοδος για να εξοικειωθούμε με αυτού του είδους τα διαγράμματα που θα τα μελετήσουμε πιο εκτενώς στην ανάλυση wavelet.



<pre>function spectradata load work/monthssn imax=56*12 for k=1:3089-imax; n=(k):(k+imax-1); wolfer=monthssn(n,2); y=fft(wolfer); N=length(y); N2=N/2; y(1) = []; power(1:N2,k) = abs(y(1:N2)).^2; lgpower=log(power); nyquist = 1/2; l=1:N2; freq(k,l) = (1:N2)/(N2)*nyquist; end for i=1:k;</pre>	<pre>for j=1:N2; freq1(j,i)=freq(i,j); period(j,i)=1/freq1(j,i); end end e=1 for m=1:k; for c=1:N2; h1(c,m)=e; end e=e+1; end figure,contourf(h1,period,power,40) save power end</pre>
---	--

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρούμε ότι το σημείο μέγιστης έντασης σε κάθε πακέτο δεδομένων που επεξεργαζόμαστε είναι περίπου στα 11 χρόνια όπως εξάλλου αναμέναμε. Στα δυο πρώτα διαγράμματα έχουμε επεξεργαστεί τα δεδομένα monthssn για δυο διαφορετικές τιμές του imax. Στο πρώτο για imax=1200months ενώ στο δεύτερο για imax=264months. Το ίδιο κάναμε για δεδομένα yearssn με imax=130years και 40years





Μέθοδος 2 Ανάλυση wavelet.

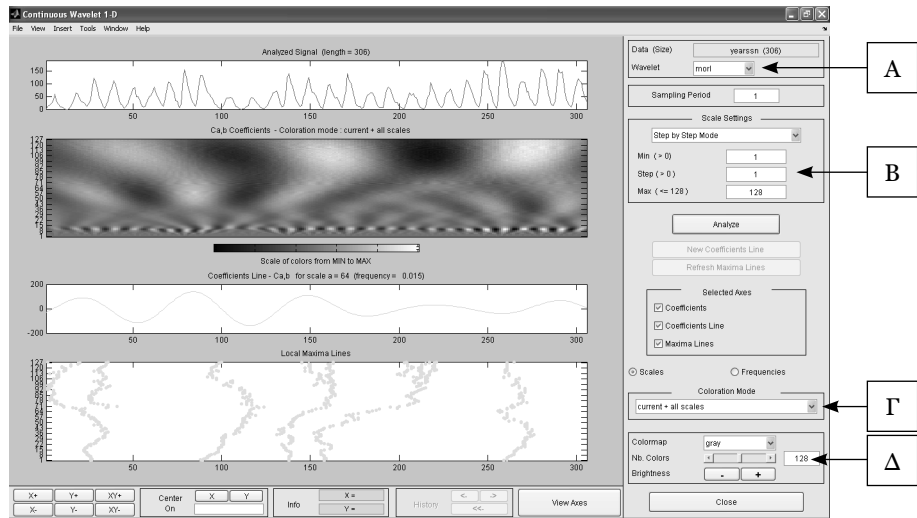
Γενικά

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε την λειτουργία ενός έτοιμου περιβάλλοντος που μας προσφέρει το matlab και χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση σημάτων το οποίο ονομάζεται wavelet toolbox. Για να το χρησιμοποιήσουμε επιλέγουμε **start >toolboxes >more>wavelet> wavelet toolbox main menu**. Τότε εμφανίζεται ένα παράθυρο που μας δίνει αρκετές επιλογές για την επεξεργασία ενός σήματος αλλά εμείς θα ασχοληθούμε μόνο με την επιλογή **continuous wavelet 1-D**.

Ας δούμε όμως πρώτα τι είναι η ανάλυση Wavelet και ποια είναι η σχέση της με την ανάλυση Fourier που είδαμε παραπάνω. Η ανάλυση wavelet αποτελεί συμπλήρωμα της ανάλυσης Fourier. Η ανάλυση Fourier χρησιμοποιεί τις βασικές συναρτήσεις $\sin(t)$, $\cos(t)$ και $\exp(it)$ οι οποίες είναι κατάλληλες στο πεδίο ορισμού συχνότητων για την ανάλυση και την σύνθεση σημάτων με απλή μορφή φάσματος και τα οποία έχουν πολύ εύκολο εντοπισμό συχνότητας. Ωστόσο στο πεδίο ορισμού του χρόνου οι συναρτήσεις αυτές δεν είναι εντοπισμένες και είναι δύσκολο με αυτές να αναλύσουμε ή να συνθέσουμε πολύπλοκα σήματα που παρουσιάζουν τοπικές ανωμαλίες όπως παροδικές ή αιφνίδιες μεταβολές σήματος. Στην ανάλυση wavelet για να περιορίσουμε τις δυσκολίες που εμπεριέχονται στην ανάλυση Fourier είναι δυνατό να αναπαραστήσουμε το σήμα χρησιμοποιώντας μια κανονική συνάρτηση η οποία είναι μηδέν ή έστω σχεδόν μηδέν στο εξωτερικό τμήμα ενός χρονικού διαστήματος της μορφής $[-\tau, \tau]$. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται Wavelet και η αναπαράσταση ενός σήματος χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση αυτή και το μετασχηματισμό wavelet μπορεί να μας δώσει πληροφορία για την περιοδικότητα του

σήματος καθώς και για την χρονική εξάρτηση αυτής. Ο μετασχηματισμός wavelet μετασχηματίζει στην ουσία ένα μονοδιάστατο σήμα και μας δίνει ως αποτέλεσμα ένα γράφημα συναρτήσεως του χρόνου, της περιόδου και της ισχύος ενός εύρους τιμών του σήματος όπως και ο κυλιόμενος μετασχηματισμός Fourier.

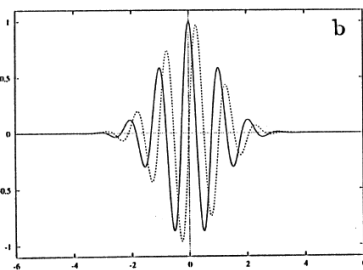
Ανάλυση wavelet του αριθμού wolfer.



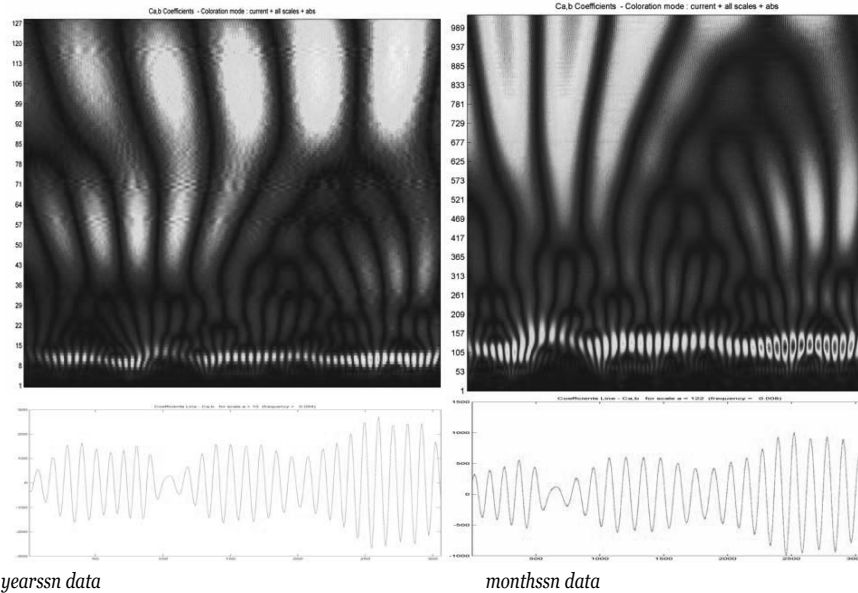
Αυτό είναι το κύριο παράθυρο του **continuous wavelet 1-D**.

Στις περιοχές A,B,Γ,Δ μπορούμε να ρυθμίσουμε τον τύπο του wavelet, την περιοχή και το βήμα σχεδίασης καθώς και τις μεθόδους χρωματισμού του γραφήματος αντίστοιχα.

Το wavelet που χρησιμοποιείται πιο συχνά για τέτοιου είδους δεδομένα είναι το Morlet wavelet που έχει τύπο $\psi = e^{-t^2/2} e^{i\omega_0 t}$ με $\omega_0=6$ και η γραφική του παράσταση είναι η παρακάτω.



Φορτώνουμε τα δεδομένα μας για τον αριθμό wolf και αφού το πρόγραμμα τα επεξεργαστεί εξάγει τα παρακάτω διαγράμματα.

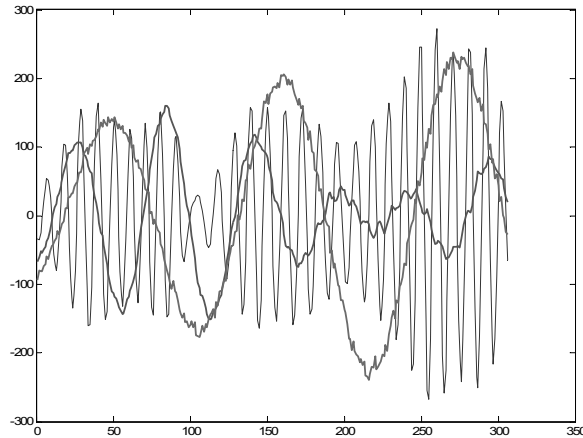


Τα δυο παραπάνω διαγράμματα μας δείχνουν πως μεταβάλλεται η ισχύς για την κάθε περίοδο σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Συνοψίζοντας έχουμε.

- 1) Υπάρχουν 3 κύριες περίοδοι στα δεδομένα των κηλίδων. Η πρώτη είναι αυτή του 11ετούς κύκλου γνωστή και ως Schwabe cycle. Η δεύτερη αυτή που αφορά την περίοδο των 101 χρόνων και αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως Gleissberg cycle και τέλος αυτή των 55ετών η οποία εμφανίζεται μεταξύ των χρόνων 1750 και 1800.
- 2) Παρατηρούμε ότι μεταξύ των χρονολογιών 1750 και 1800 η ισχύς του κύκλου με περίοδο 55 χρόνια είναι πιο μεγάλη από ότι αυτή του 11ετούς κύκλου. Έπειτα η περίοδος των 55ων χρόνων έχει μειωμένη ισχύ μετά από το 1850 ενώ η ισχύς του σήματος με περίοδο περίπου 105 χρόνων είναι μονίμως υψηλή για τις χρονολογίες 1750,1800,1900 και έπειτα.
- 3) Όσον αφορά τον 11ετή κύκλο η ισχύς του είναι αρκετά μικρή μεταξύ του 1800 και 1900 όπως εξάλλου είναι μικρή και η δραστηριότητα των κηλίδων για αυτά τα χρόνια. Από το 1940 έως και το 2000 η ισχύς του κύκλου είναι αρκετά μεγάλη και σίγουρα ξεπερνάει αυτή των δύο άλλων κύκλων.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί μπορούμε να παρατηρήσουμε πιο καλά την χρονική εξέλιξη της ισχύος των τριών κύκλων που προαναφέραμε.



Η χρονική εξέλιξη της ισχύος των περιόδων 11yr, 53yr, 101yr.

Περαιτέρω μελέτη:

Η εμφάνιση των κηλίδων στον ήλιο δεν είναι το μοναδικό περιοδικό φαινόμενο. Υπάρχουν πληθώρα τέτοιων περιοδικών φαινομένων όπως η περιοδική αλλαγή της συνολικής ηλιακής ενέργειας που φτάνει στο επίπεδο της ατμόσφαιρας της γης, η περιοδικότητα της ροής κοσμικών ακτίνων της εμφάνισης μαγνητικών καταιγίδων, ηλιακών εκλάμψεων κτλ. Γνωρίζοντας τα απαραίτητα δεδομένα για το καθένα από τα παραπάνω φαινόμενα μπορούμε να πειραματιστούμε βρίσκοντας τις περιοδικότητές του χρησιμοποιώντας την παραπάνω μεθοδολογία. Για όσους βέβαια αναρωτηθούν για την χρησιμότητα όλων αυτών των αναλύσεων αξίζει να αναφέρουμε πως όχι μόνο είναι απαραίτητες για την επιβεβαίωση διαφόρων θεωρητικών μοντέλων που αναφέρονται στη διαδικασία δημιουργίας των ηλιακών φαινομένων αλλά θα πρέπει να γνωρίζουμε πως η δραστηριότητα του ήλιου επιδρά και σε γήινα δεδομένα. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως από μελέτες που έγιναν γνωρίζουμε ότι οι διακυμάνσεις της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της γης καθώς και η εμφάνιση κηλίδων συνδέονται σε σχετικά μεγάλες χρονικές κλίμακες, μην ξεχνάμε εξάλλου και το ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας του Maunder με το δριμύ ψύχος που επικρατούσε τότε σε όλο το βόρειο ημισφαίριο. Η εποχή αυτή εξάλλου τεκμηριώνεται από ιστορικά δεδομένα και ονομάζεται μικρή εποχή των παγετώνων κατά την διάρκεια της οποίας τα ποτάμια πάγωναν και τα χιόνια παρέμεναν και στα χαμηλά υψόμετρα χωρίς να λιώνουν. Υπάρχουν βέβαια αποδείξεις ότι ο ήλιος διένυσε τέτοιες περιόδους και στο πιο μακρινό παρελθόν. Παρακάτω παρουσιάζουμε ένα σχετικό διάγραμμα.

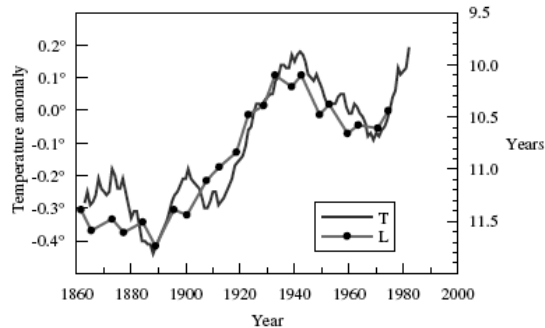


Figure 1. Smoothed length of the solar cycle (L) and the 11 yr running average of the northern hemisphere land temperature (T). (Figure taken from Friis-Christensen E and Lassen K 1991 Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate *Science* 254 698–700.)

Βιβλιογραφία:

- *Wavelet Analysis of Several Important Periodic Properties in the Relative Sunspot Numbers.*
Gui-Ming Le and Jia-Long Wang
- *Wavelet analysis of solar activity recorded by sunspot groups.*
Peter Frick, Denis Galyagin, Douglas V. Hoyt, Elizabeth Nesme-Ribes, Kenneth H. Schatten, Dmitry Sokoloff, and Viktor Zakharov
- *Solar cycles: A tutorial*
X. Moussas, J.M. Polygiannakis, P. Preka-Papadema, G. Exarhos
- *WAVELET ANALYSIS OF SOLAR ACTIVITY*
Stefano Sello
- *Determination of solar cycle length variations using the continuous wavelet transform*
M. Fligge, S.K. Solanki, and J. Beer
- *Matlab Help.*
- *UCL Department of Phonetics and Linguistics*
Introduction to Computer Programming with MATLAB
(internet link www.phon.ucl.ac.uk)