

# Γραφικά και Οπτικοποίηση

## Αρχές και Αλγόριθμοι

Θ. Θεοχάρης  
*Πανεπιστήμιο Αθηνών*

Γ. Παπαϊωάννου  
*Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών*

Ν. Πλατής  
*Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου*

Ν. Μ. Πατρικαλάκης  
*Massachusetts Institute of Technology*

Με συνεισφορές των

P. Dutré

A. Nasri, F. A. Salem, και G. Turkiyyah

Αθήνα 2019

Συγγραφείς: Θ. Θεοχάρης, Γ. Παπαϊωάννου, Ν. Πλατής, Ν. Μ. Πατρικαλάκης  
Τίτλος: Γραφικά και Οπτικοποίηση: Αρχές και Αλγόριθμοι

Κεντρική Διάθεση:  
Εταιρεία Αξιοποιήσεως και Διαχειρίσεως της Περιουσίας του Πανεπιστημίου Αθηνών  
Πανεπιστημίου 30, τηλ.: 210-368 8194

Επιμέλεια: Γεωργία Ρίζου

Γραφιστική επεξεργασία:  
Τμήμα Τυπογραφείου, Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Το εξώφυλλο βασίζεται στη συνθετική δημιουργία του M. DenkoWaiting for Spring, την οποία μετονομάσαμε Το αδύνατο. Εμπροσθόφυλλο: τελική συνθετική εικόνα. Οπισθόφυλλο: τρία στάδια της δημιουργίας συνθετικής εικόνας (πλέγμα μοντέλων πάνω σε φωτισμένες 3Δ επιφάνειες, φωτισμένες 3Δ επιφάνειες, τελική εικόνα).

Έτος Α΄ έκδοσης: 2010

© Copyright 2019, 4<sup>η</sup> ανατύπωση, Εκδόσεις Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Απαγορεύεται η κατά οποιονδήποτε τρόπο αναπαραγωγή, δημοσίευση ή χρησιμοποίηση όλων ή μερών του βιβλίου αυτού, χωρίς την έγγραφη άδεια του εκδότη και του συγγραφέα.

ISBN: 978-960-466-210-4

# Περιεχόμενα

Πρόλογος στην ελληνική έκδοση	ix
Πρόλογος	xi
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Σύντομη ιστορία	1
1.2 Εφαρμογές	6
1.3 Έννοιες	7
1.4 Σωλήνωση γραφικών	8
1.5 Καταχωρητές εικόνας	13
1.6 Υλικό γραφικών	17
1.7 Συμβάσεις	27
<b>2 Αλγόριθμοι σχεδίασης</b>	<b>29</b>
2.1 Εισαγωγή	29
2.2 Μαθηματικές καμπύλες και πεπερασμένες διαφορές	31
2.3 Σχεδίαση ευθείας	34
2.4 Σχεδίαση κύκλου	37
2.5 Έλεγχοι εσωτερικού σημείου	40
2.6 Σχεδίαση πολυγώνου	41
2.7 Προοπτική διόρθωση	49
2.8 Αντιταύτιση στο χώρο	50
2.9 Αλγόριθμοι αποκοπής στις 2Δ	57
2.10 Ασκήσεις	70
<b>3 Συστήματα συντεταγμένων και μετασχηματισμοί στις 2Δ και 3Δ</b>	<b>73</b>
3.1 Εισαγωγή	73
3.2 Συσχετισμένοι μετασχηματισμοί	74
3.3 2Δ συσχετισμένοι μετασχηματισμοί	76
3.4 Σύνθετοι μετασχηματισμοί	80
3.5 2Δ ομογενείς συσχετισμένοι μετασχηματισμοί	82
3.6 Παραδείγματα 2Δ μετασχηματισμών	84
3.7 3Δ ομογενείς συσχετισμένοι μετασχηματισμοί	92
3.8 Παραδείγματα 3Δ μετασχηματισμών	96
3.9 Quaternions®	105
3.10 Γεωμετρικές ιδιότητες	111

3.11	Ασκήσεις . . . . .	112
<b>4</b>	<b>Προβολές και μετασχηματισμοί παρατήρησης</b>	<b>115</b>
4.1	Εισαγωγή . . . . .	115
4.2	Προβολές . . . . .	116
4.3	Παραδείγματα προβολών . . . . .	122
4.4	Μετασχηματισμός παρατήρησης . . . . .	127
4.5	Προεκταμένος μετασχηματισμός παρατήρησης . . . . .	133
4.6	Περικοπή στο οπτικό πεδίο και μετασχηματισμός παρατήρησης . . . . .	137
4.7	Ο μετασχηματισμός πεδίου παράστασης . . . . .	138
4.8	Ασκήσεις . . . . .	138
<b>5</b>	<b>Περικοπή και απομάκρυνση κρυμμένων επιφανειών</b>	<b>141</b>
5.1	Εισαγωγή . . . . .	141
5.2	Περικοπή πίσω όψεων . . . . .	143
5.3	Περικοπή στο οπτικό πεδίο . . . . .	144
5.4	Περικοπή παρεμποδιζόμενων . . . . .	149
5.5	Απομάκρυνση κρυμμένων επιφανειών . . . . .	155
5.6	Βελτίωση απόδοσης . . . . .	165
5.7	Ασκήσεις . . . . .	169
<b>6</b>	<b>Αναπαράσταση και απλοποίηση μοντέλων</b>	<b>171</b>
6.1	Εισαγωγή . . . . .	171
6.2	Επισκόπηση μορφών μοντέλων . . . . .	171
6.3	Ιδιότητες πολυγωνικών μοντέλων . . . . .	173
6.4	Δομές δεδομένων για πολυγωνικά μοντέλα . . . . .	175
6.5	Απλοποίηση πολυγωνικών μοντέλων . . . . .	179
6.6	Ασκήσεις . . . . .	185
<b>7</b>	<b>Παραμετρικές καμπύλες και επιφάνειες</b>	<b>187</b>
7.1	Εισαγωγή . . . . .	187
7.2	Καμπύλες Bézier . . . . .	188
7.3	Καμπύλες B-spline . . . . .	201
7.4	Ρητές καμπύλες Bézier και B-spline . . . . .	216
7.5	Καμπύλες παρεμβολής . . . . .	221
7.6	Επιφάνειες . . . . .	233
7.7	Ασκήσεις . . . . .	241
<b>8</b>	<b>Υποδιαίρεση για τα γραφικά και την οπτικοποίηση</b>	<b>243</b>
8.1	Εισαγωγή . . . . .	243
8.2	Συμβολισμοί . . . . .	244
8.3	Καμπύλες υποδιαίρεσης . . . . .	245
8.4	Επιφάνειες υποδιαίρεσης . . . . .	247
8.5	Επεξεργασία των επιφανειών υποδιαίρεσης . . . . .	262

8.6	Ανάλυση επιφανειών υποδιαίρεσης <sup>®</sup> . . . . .	269
8.7	Εφαρμογές υποδιαίρεσης στα πεπερασμένα στοιχεία <sup>®</sup> . . . . .	275
8.8	Ασκήσεις . . . . .	291
<b>9</b>	<b>Διαχείριση σκηνής</b> . . . . .	<b>293</b>
9.1	Εισαγωγή . . . . .	293
9.2	Γράφοι σκηνής . . . . .	296
9.3	Κατανεμημένη σχεδίαση σκηνής . . . . .	309
9.4	Ασκήσεις . . . . .	313
<b>10</b>	<b>Αρχές οπτικοποίησης</b> . . . . .	<b>315</b>
10.1	Εισαγωγή . . . . .	315
10.2	Μέθοδοι επιστημονικής εξερεύνησης . . . . .	317
10.3	Δεδομένα και μετασχηματισμοί τους . . . . .	318
10.4	Δοκιμασμένες αρχές γραφημάτων . . . . .	322
10.5	Τονική απεικόνιση . . . . .	324
10.6	Θέματα αντίληψης . . . . .	328
10.7	Οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων . . . . .	331
10.8	Ασκήσεις . . . . .	333
<b>11</b>	<b>Το χρώμα στα γραφικά και στην οπτικοποίηση</b> . . . . .	<b>335</b>
11.1	Εισαγωγή . . . . .	335
11.2	Αποχρώσεις γκρι (grayscale) . . . . .	335
11.3	Χρωματικά μοντέλα . . . . .	342
11.4	Θέματα διαδικτύου . . . . .	352
11.5	Εικόνες υψηλού δυναμικού εύρους - ΥΔΕ (High Dynamic Range Images - HDR) . . . . .	353
11.6	Ασκήσεις . . . . .	356
<b>12</b>	<b>Μοντέλα και αλγόριθμοι φωτισμού</b> . . . . .	<b>359</b>
12.1	Εισαγωγή . . . . .	359
12.2	Φυσική της αλληλεπίδρασης φωτός-αντικειμένων I . . . . .	360
12.3	Το μοντέλο φωτισμού Lambert <sup>®</sup> . . . . .	364
12.4	Το μοντέλο φωτισμού Phong . . . . .	367
12.5	Διανύσματα μοντέλου Phong . . . . .	373
12.6	Αλγόριθμοι φωτισμού με βάση το μοντέλο Phong . . . . .	380
12.7	Το μοντέλο φωτισμού Cook-Torrance <sup>®</sup> . . . . .	388
12.8	Το μοντέλο φωτισμού Oren-Nayar <sup>®</sup> . . . . .	395
12.9	Το μοντέλο φωτισμού Strauss <sup>®</sup> . . . . .	401
12.10	Ανισοτροπική ανακλαστικότητα . . . . .	403
12.11	Παρεμπόδιση διάχυτου φωτισμού (Ambient Occlusion) . . . . .	406
12.12	Πηγαίος κώδικας shaders . . . . .	411
12.13	Ασκήσεις . . . . .	415

<b>13</b>	<b>Σκιές</b>	<b>417</b>
13.1	Εισαγωγή . . . . .	417
13.2	Σκιές και πηγές φωτός . . . . .	419
13.3	Ο αλγόριθμος πολυεδρικών σκιών . . . . .	421
13.4	Εικόνες σκιών . . . . .	436
13.5	Ασκήσεις . . . . .	450
<b>14</b>	<b>Υφή</b>	<b>451</b>
14.1	Εισαγωγή . . . . .	451
14.2	Παραμετρική απεικόνιση υφής . . . . .	452
14.3	Δημιουργία συντεταγμένων υφής . . . . .	458
14.4	Σμίκρυνση και μεγέθυνση υφής . . . . .	473
14.5	Συναρτησιακή υφή . . . . .	482
14.6	Μετασχηματισμοί στο χώρο της υφής . . . . .	490
14.7	Αναπαράσταση αναγλύφου . . . . .	491
14.8	Άτλαντες υφής <sup>®</sup> . . . . .	501
14.9	Ιεραρχίες υφής . . . . .	512
14.10	Ασκήσεις . . . . .	514
<b>15</b>	<b>Παρακολούθηση ακτίνων</b>	<b>515</b>
15.1	Εισαγωγή . . . . .	515
15.2	Οι αρχές της παρακολούθησης ακτίνων . . . . .	516
15.3	Ο αναδρομικός αλγόριθμος παρακολούθησης ακτίνων . . . . .	523
15.4	Εκπομπή ακτίνων . . . . .	531
15.5	Διάσχιση σκηνής για ανίχνευση τομών . . . . .	535
15.6	Προβλήματα του αλγόριθμου παρακολούθησης ακτίνων . . . . .	545
15.7	Κατανεμημένη παρακολούθηση ακτίνων <sup>®</sup> . . . . .	547
15.8	Ασκήσεις . . . . .	550
<b>16</b>	<b>Αλγόριθμοι ολικού φωτισμού</b>	<b>551</b>
16.1	Εισαγωγή . . . . .	551
16.2	Φυσική της αλληλεπίδρασης φωτός-αντικειμένων II . . . . .	551
16.3	Ολοκλήρωση Monte Carlo . . . . .	559
16.4	Υπολογίζοντας τον άμεσο φωτισμό . . . . .	562
16.5	Έμμεσος φωτισμός . . . . .	576
16.6	Radiosity . . . . .	591
16.7	Συμπεράσματα . . . . .	597
16.8	Ασκήσεις . . . . .	598
<b>17</b>	<b>Βασικές τεχνικές συνθετικής κίνησης</b>	<b>601</b>
17.1	Εισαγωγή . . . . .	601
17.2	Τεχνικές χαμηλού επιπέδου για συνθετική κίνηση . . . . .	603
17.3	Συνθετική κίνηση στερεών σωμάτων . . . . .	617
17.4	Σκελετική κίνηση . . . . .	618

17.5	Παραμορφώσιμα μοντέλα βασισμένα στη φυσική . . . . .	623
17.6	Συστήματα σωματιδίων . . . . .	625
17.7	Ασκήσεις . . . . .	627
<b>18</b>	<b>Αλγόριθμοι οπτικοποίησης</b>	<b>629</b>
18.1	Εισαγωγή . . . . .	629
18.2	Οπτικοποίηση βαθμωτών δεδομένων . . . . .	632
18.3	Οπτικοποίηση διανυσματικών δεδομένων . . . . .	645
18.4	Ασκήσεις . . . . .	656
 <i>Παραρτήματα</i>		
<b>A'</b>	<b>Διανυσματικοί και συσχετισμένοι χώροι</b>	<b>659</b>
A.1	Διανυσματικοί χώροι . . . . .	659
A.2	Συσχετισμένοι χώροι . . . . .	666
<b>B'</b>	<b>Στοιχεία διαφορικής γεωμετρίας</b>	<b>669</b>
B.1	Καμπύλες . . . . .	669
B.2	Επιφάνειες . . . . .	674
<b>Γ'</b>	<b>Έλεγχοι τομής</b>	<b>681</b>
Γ.1	Τομή δύο ευθειών στο επίπεδο . . . . .	681
Γ.2	Τομή ευθείας-επιπέδου . . . . .	683
Γ.3	Τομή ευθείας-τριγώνου . . . . .	683
Γ.4	Τομή ευθείας-σφαίρας . . . . .	684
Γ.5	Τομή ευθείας-κυρτού πολυέδρου . . . . .	686
<b>Δ'</b>	<b>Υπολογισμοί στερεών γωνιών</b>	<b>689</b>
<b>E'</b>	<b>Στοιχεία θεωρίας σημάτων</b>	<b>693</b>
E.1	Δειγματοληψία . . . . .	693
E.2	Το πεδίο των συχνοτήτων . . . . .	694
E.3	Συγκερασμός και φιλτράρισμα . . . . .	696
E.4	Θεώρημα δειγματοληψίας . . . . .	699
 <b>Βιβλιογραφία</b>		
		<b>701</b>
 <b>Ευρετήριο</b>		
		<b>723</b>
Ελληνικοί όροι . . . . .		723
Αγγλικοί όροι . . . . .		731