

## Η Επίδραση της Οπτικής Επαφής στη Δικτυακή Μουσική Εκτέλεση

Κωνσταντίνος Τσιούτας\*, Κωνσταντίνος Τσάμης, Χρυσούλα Αλεξανδράκη  
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής,  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο  
Ε. Δασκαλάκη Περιβόλια  
741 33, Ρέθυμνο  
\*ktsioutas@hmu.gr (υπεύθυνου)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη Δικτυακή Μουσική Εκτέλεση (ΔΜΕ), δηλαδή την εκτέλεση μουσικής μέσω δικτύου υπολογιστών, το κυρίαρχο μέσο επικοινωνίας είναι ο ήχος, ενώ η ηχητική καθυστέρηση είναι το βασικότερο θέμα στην έρευνα κι ανάπτυξη γύρω από το θέμα αυτό. Ωστόσο υπάρχουν ερευνητικές πρωτοβουλίες, αν και ελάχιστες, που εξετάζουν το ρόλο της οπτικής επαφής κατά τη ΔΜΕ. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην αναγκαιότητα και την επίδραση της οπτικής επαφής στο μουσικό που συμμετέχει σε μια συνεδρία ΔΜΕ. Οκτώ μουσικοί αλληλοεπίδρασαν μέσω τοπικού δικτύου, με ελεγχόμενες συνθήκες καθυστέρησης και οπτικής επαφής. Οι μουσικοί απάντησαν ερωτηματολόγια σχετικά με την εμπειρία τους, ενώ έγινε και καταγραφή με βίντεο με σκοπό την εξαγωγή συναισθηματικής πληροφορίας από τις εκφράσεις τους. Από την ανάλυση των ερωτηματολογίων προέκυψαν ευρήματα που δείχνουν ότι η οπτική επαφή είναι χρήσιμη στη ΔΜΕ αλλά μπορεί να δημιουργήσει και φαινόμενα σύγχυσης στους μουσικούς. Επιπλέον η ανάλυση των καταγραφών βίντεο δεν ανέδειξε στοιχεία που να οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οπτική επαφή βελτιώνει την εμπειρία των μουσικών.

### *The Influence of Visual Contact in Network Music Performance*

#### ABSTRACT

In Network Music Performance (NMP), that is when two or more musicians perform via computer networks, the most important communication channel is the auditory one. Audio latency and how to compensate it is a fundamental issue of research in this domain. Nevertheless, a small number of research initiatives investigate the role of visual contact in NMP. The present study focuses on assessing whether visual contact is necessary and how it influences the experience of musicians during NMP. Eight musicians interacted over a Local Area Network, using simulated amounts of latency to compare the experience of musicians between two conditions,

*i.e. with and without visual contact. The musicians answered questionnaires about their experience, while their faces were video recorded to extract emotional information about their experience. The analysis of the questionnaires revealed that visual contact is useful in NMP, but may also create confusion for musicians. Furthermore, the analysis of the video recordings does not provide any evidence proving that visual contact improves the experience of musicians.*

## Εισαγωγή

Ως Δικτυακή Μουσική Εκτέλεση (ΔΜΕ) θεωρείται η διαδικασία κατά την οποία δύο ή περισσότεροι μουσικοί συνεργάζονται μέσω Διαδικτύου, ο καθένας από το χώρο του, κάνοντας χρήση του υπολογιστή του και κατάλληλης εφαρμογής για τη ηχητική επικοινωνία [1]. Καθοριστικός παράγοντας στην επίτευξη της αποτελεσματικής επικοινωνίας κατά τη ΔΜΕ είναι η καθυστέρηση του δικτύου η οποία επηρεάζει έντονα το συγχρονισμό των μουσικών, καθώς όσο η καθυστέρηση αυξάνεται οι μουσικοί επιβραδύνουν το τέμπο της μουσικής τους εκτέλεσης, σε μια προσπάθεια να συγχρονιστούν. Σχετικές μελέτες καταδεικνύουν ότι όταν η καθυστέρηση στην ηχητική επικοινωνία ξεπερνά το όριο των 30ms από τον ένα μουσικό στον άλλο, ο συγχρονισμός καθίσταται είναι αδύνατος [2] [3] [4].

Πολυάριθμες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στο πεδίο της ΔΜΕ με υλοποιήσεις λογισμικών, αλλά και έρευνες μελέτης των παραγόντων επηρεάζουν τόσο την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) [5] [6], όσο και την ποιότητα της εμπειρίας (QoE) των μουσικών [7]. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών εστιάζουν στη μελέτη της επίδρασης της καθυστέρησης του ήχου στο μουσικό τέμπο.

Εντούτοις, υπάρχουν ερευνητικές πρωτοβουλίες, αν και ελάχιστες που εστιάζουν στην αναγκαιότητα και την επίδραση της οπτικής επαφής κατά τη διεξαγωγή μιας συνεδρίας ΔΜΕ. Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ένα κύκλο πειραμάτων που είχαν ως στόχο να διερευνήσουν την αναγκαιότητα της οπτικής επαφής στη ΔΜΕ καθώς και στην επίδραση της στην εμπειρία του μουσικού.

### 1. Σχετικές μελέτες

Η οπτική επαφή μεταξύ των μουσικών κατά τη συνεργατική μουσική εκτέλεση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο συγχρονισμό των μουσικών. Παρόλο που υπάρχουν ενδείξεις ότι μουσικοί βασίζονται κατά κύριο λόγο στο ακουστικό κανάλι προκειμένου να συγχρονιστούν [8] [9] το οπτικό κανάλι αποτελεί σημαντικό δίαυλο επικοινωνίας ειδικά όταν η απόσταση μεταξύ των μουσικών ξεπερνά κάποια όρια. Έτσι στη περίπτωση ενός ακουστικού ντουέτου μουσικών που συν-εκτελούν ευρισκόμενοι στον ίδιο χώρο και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους της τάξεως των 2 έως 3 μέτρων, η καθυστέρηση στη μετάδοση του ήχου υπολογίζεται στα  $2\mu/343\mu/\text{sec} = 5,8 \text{ ms}$  και δεν γίνεται αντιληπτή από την/τον μέσο μουσικό. Στην περίπτωση όμως μιας ορχήστρας η οπτική επαφή με τον μαέστρο είναι καθοριστική για τον συγχρονισμό των μουσικών [10].

Πολλές έρευνες εξετάζουν το ρόλο της οπτικής επαφής αλλά και των οπτικών ενδείξεων (visual cues) στη μουσική εκτέλεση που διεξάγεται με το συμβατικό τρόπο, δηλαδή στον ίδιο φυσικό χώρο. Έχει βρεθεί ότι συγχρονισμός μεταξύ δύο μουσικών

βελτιώνεται σημαντικά όταν αυτοί έχουν οπτική επαφή [11][12]. Επιπλέον παρουσία κοινού, η προσθήκη οπτικών στοιχείων όπως οι χειρονομίες και οι εκφράσεις του προσώπου επηρεάζουν θετικά την αντίληψη των ακροατών και τη συναισθηματική τους σύνδεση με τους μουσικούς [13][14] [15]. Ερευνητές, [16] βρήκαν σημαντικές ενδείξεις ότι η απόδοση των μουσικών ενός συγκροτήματος βελτιώνεται λόγω της οπτικής επαφής και ότι η ύπαρξη μαέστρου βελτιώνει τη μουσική ερμηνεία. Σε αντίθεση με τις παραπάνω έρευνες, έχουν βρεθεί ενδείξεις ότι η οπτική επαφή μπορεί να αποσταθεροποιήσει τη ρυθμική αλληλοεπίδραση δύο ανθρώπων [17].

## 2. Μεθοδολογία

Προκειμένου να μελετήσουμε την επίδραση της οπτικής επαφής (εφεξής *OE*) στην εμπειρία του μουσικού (*QoE*) κατά τη ΔΜΕ, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων καθώς και τις μεθόδους *between subjects* και *within subjects* [18]. Για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν αφενός ερωτηματολόγια για την υποκειμενική αξιολόγηση αλλά και μέθοδοι εξαγωγής συναισθηματικής πληροφορίας με χρήση εργαλείων μηχανικής μάθησης, μέσω ανάλυσης των εκφράσεων των προσώπων των μουσικών για την αντικειμενική αξιολόγηση.

Οκτώ μουσικοί συμμετείχαν στα πειράματα ανά δύο, δηλαδή το πείραμα αφορούσε σε τέσσερα ντουέτα. Οι μουσικοί κλήθηκαν να παίζουν μέσω τοπικού δικτύου με και χωρίς *OE*, με χρήση συνδεδεμένων καμερών και οθονών. Για την αποφυγή παρερμηνειών στα αποτελέσματα του πειράματος, υιοθετήθηκε η μέθοδος *between subjects*. Πιο συγκεκριμένα, τα μισά ντουέτα μουσικών έπαιζαν πρώτα χωρίς *OE* και έπειτα με *OE* και τα άλλα μισά με τον αντίθετο τρόπο.

Πίνακας 1: Τιμές καθυστέρησης από άκρο σε άκρο (*M2E*) ανά επανάληψη και ανά συνθήκη *OE*

<i>OE</i>	Επανάληψη	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>	5 <sup>η</sup>	6 <sup>η</sup>	7 <sup>η</sup>
Όχι	Καθ/ση (ms)	22	32	12	42	62	72	52
Ναι	Καθ/ση (ms)	32	42	12	72	52	62	22

Για κάθε συνθήκη (με *OE* και χωρίς *OE*), οι μουσικοί εκτέλεσαν επτά επαναλήψεις διάρκειας ενός περίπου λεπτού, και με τις τιμές τεχνητής δικτυακή καθυστέρησης που παρατίθενται στον Πίνακα 1. Για αποφυγή φαινομένων *bias* η καθυστέρηση δεν τέθηκε αυξητικά ανά επανάληψη αλλά με τυχαία σειρά όπως φαίνεται στον πίνακα. Έπειτα από κάθε επανάληψη οι μουσικοί απάντησαν το ερωτηματολόγιο που τους δόθηκε το οποίο περιλάμβανε πέντε ερωτήσεις, ώστε να ελαχιστοποιηθούν φαινόμενα κόπωσης που αναμένονταν λόγω επαναλαμβανόμενων πειραμάτων [22].

Οι απαντήσεις δόθηκαν στη κλίμακα Likert (1 = Καθόλου, 5 = Πάρα πολύ), ενώ οι ερωτήσεις που τέθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

1. Αξιολογήστε κατά πόσο σας άρεσε αυτή η επανάληψη;
2. Αξιολογήστε σε ποιο βαθμό αντιληφθήκατε καθυστέρηση στον ήχο;
3. Αξιολογήστε σε ποιο βαθμό είχατε συγχρονισμό με τον άλλο μουσικό;

4. Αξιολογήστε κατά πόσο προσπαθήσατε να ακολουθήσετε τον συνάδελφό σας στον ρυθμό;
5. Που επικεντρωθήκατε πιο πολύ στην εικόνα ή στον ήχο; (1 = Εικόνα, 5 = Ήχο) (Η ερώτηση τέθηκε για την συνθήκη με *OE*)

Κατόπιν της ολοκλήρωσης των πειραμάτων, ζητήθηκε από τους μουσικούς να απαντήσουν σε μια τελευταία ερώτηση:

6. Στη Διαδικτυακή Μουσική Εκτέλεση η οπτική επαφή βοηθάει πάρα πολύ» (1 = Διαφωνώ απόλυτα, 5 = Συμφωνώ απόλυτα).

### 3. Πειραματική διάταξη

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, στην πόλη του Ρεθύμνου, σε δύο διαφορετικούς εργαστηριακούς χώρους.

Σε κάθε εργαστήριο βρισκόταν ο ένας από τους δύο μουσικούς μαζί με τους χειριστές των υπολογιστών και τους μηχανικούς ήχου. Επιπλέον οι υπολογιστές των δύο εργαστηρίων ήταν συνδεδεμένοι με το τοπικό δίκτυο του πανεπιστημίου που διαθέτει σύνδεση Gigabit Ethernet και επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν οι ιδιωτικές/εσωτερικές διευθύνσεις IP.

#### 3.1 Μετάδοση και καταγραφή Ήχου

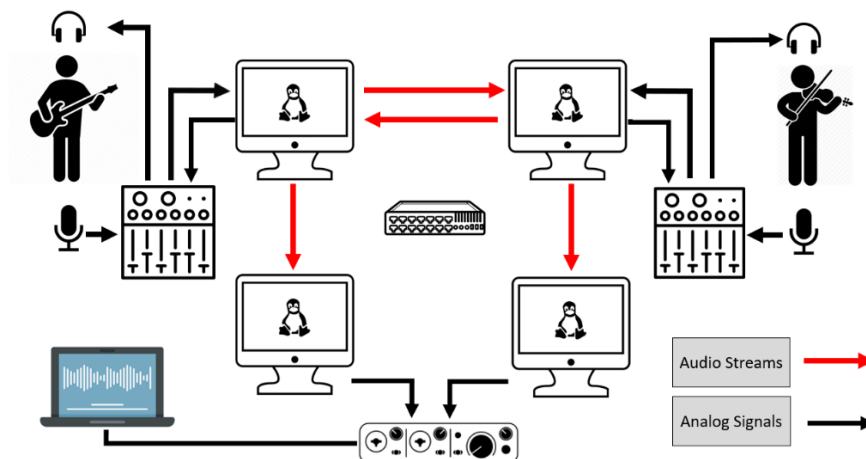
Οι δρομολογήσεις και οι μίξεις ήχου σε κάθε εργαστήριο έγιναν με τη χρήση των μικροφωνικών μικτών οκτώ καναλιών. Για τη σύλληψη του ήχου χρησιμοποιήθηκαν δυναμικά μικρόφωνα και για την ακρόαση ακουστικά κλειστού τύπου. Ο κάθε μουσικός άκουγε τον προσωπικό του ήχο, όχι απευθείας από τον μίκτη, αλλά μέσω της λειτουργίας *monitoring* του λογισμικού Jacktrip<sup>1</sup>. Συνεπώς ο κάθε μουσικός είχε μια μικρή καθυστέρηση (μικρότερη των 10 ms) για να ακούσει τον δικό του ήχο.

Η μετάδοση του ήχου από μουσικό σε μουσικό έγινε μέσω του Jacktrip με χρήση εντολών στο λειτουργικό σύστημα Linux. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις υπολογιστές, δύο για την αμφίδρομη ανταλλαγή ηχητικών ροών μεταξύ των δύο μουσικών και άλλοι δύο για τη λήψη της ροής του κάθε μουσικού ξεχωριστά Εικόνα 1. Οι υπολογιστές λήψης με τη σειρά τους δρομολογούσαν τις μονοφωνικές ηχητικές ροές του κάθε μουσικού στα δύο κανάλια της κάρτας ήχου (Εικόνα 2) η οποία ήταν συνδεδεμένη με φορητό υπολογιστή όπου γινόταν καταγραφή των ροών με το λογισμικό Cubase<sup>2</sup> σε δύο ξεχωριστά μονοφωνικά κανάλια.

---

<sup>1</sup> <https://ccrma.stanford.edu/software/jacktrip/>

<sup>2</sup> <https://www.steinberg.net/cubase/>



Εικόνα 1 Πειραματική διάταξη μετάδοσης και καταγραφής ήχου. Με τα κόκκινα βέλη απεικονίζονται οι δικτυακές ροές ήχου ενώ με τα μαύρα βέλη τα αναλογικά σήματα ήχου. Στο κέντρο υπάρχει ένας μεταγωγέας ο οποίος υποδηλώνει το δίκτυο Gigabit Ethernet του πανεπιστημίου. Οι δικτυακές συνδέσεις έχουν παραλειφθεί

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν εξωτερικές κάρτες ήχου παρά μόνο οι ενσωματωμένες κάρτες του κάθε υπολογιστικού συστήματος. Το λογισμικό Jacktrip παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης της δειγματοληψίας της κάρτας ήχου η οποία τέθηκε στα 44100 δείγματα / sec με βάθος λέξης τα 16 bit. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του μεγέθους της προσωρινής ηχητικής μνήμης το οποίο τέθηκε στα 128 πλαίσια/περίοδο. Η ελάχιστη καθυστέρηση του συστήματος από άκρο σε άκρο μετρήθηκε στα 12 ms ενώ η αμφίδρομη καθυστέρηση στα 24ms. Για τη παραμετροποίηση της πρόσθετης καθυστέρησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό tc-netem<sup>3</sup> με χρήση εντολών στο λειτουργικό Linux.

### 3.2 Μετάδοση και καταγραφή Εικόνας

Για τη μετάδοση της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν κάμερες χαμηλής ανάλυσης με σκοπό τη ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης από τη κάμερα προς την οθόνη προβολής, η οποία μετρήθηκε στα 62ms. Οι κάμερες ήταν συνδεδεμένες με τις αντίστοιχες οθόνες μέσω καλωδίων UTP και τερματικών υποδοχών Ethernet οι οποίες είχαν μικτονομηθεί μέσω των κατανομών έτσι ώστε να έχουν άμεση φυσική σύνδεση από άκρο σε άκρο χωρίς παρεμβολή ενδιάμεσου δικτυακού εξοπλισμού. Οι οθόνες είχαν διάσταση 32 ιντσών για να αποδίδουν σε όσο το δυνατόν πιο φυσικό μέγεθος τους μουσικούς. Για τη καταγραφή των προσώπων των μουσικών, χρησιμοποιήθηκαν κάμερες καταγραφής υψηλής ευκρίνειας.

<sup>3</sup> <https://www.linux.org/docs/man8/tc-netem.html>

## 4. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η μεθοδολογία της ανάλυσης βασίστηκε στη στατιστική μελέτη των απαντήσεων των μουσικών καθώς και στην εξαγωγή συναισθηματικής πληροφορίας από τα καταγεγραμμένα βίντεο.

### 4.1 Ανάλυση των απαντήσεων των μουσικών

Στο γράφημα *1.a* απεικονίζονται οι βαθμολογίες των μουσικών σχετικά με το πόσο τους άρεσε η κάθε επανάληψη. Όπως παρατηρείται καθώς αυξάνεται η καθυστέρηση, υπάρχει τάση μείωσης της βαθμολογίας και για τις δύο συνθήκες, κάτι το οποίο αναμενόταν. Για τη συνθήκη χωρίς *OE*, παρατηρείται μικρότερη διασπορά στις βαθμολογίες (θηκογράμματα με ανοιχτό γκρι), ένδειξη ότι οι μουσικοί είχαν πιο ξεκάθαρη γνώμη χωρίς *OE*. Αντιθέτως, παρατηρείται ότι οι ενδιάμεσες τιμές είναι μεγαλύτερες για τη συνθήκη με *OE*, ένδειξη ότι η χρήση της βελτιώνει την εμπειρία του μουσικού. Η στατιστική ανάλυση ANOVA για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις έδειξε ότι η καθυστέρηση επηρέασε σημαντικά τις βαθμολογίες ( $p = 0.002 < 0.05$ ) ενώ η συνθήκη της *OE* δεν είχε σημαντική επίδραση ( $p = 0.56 > 0.05$ ).

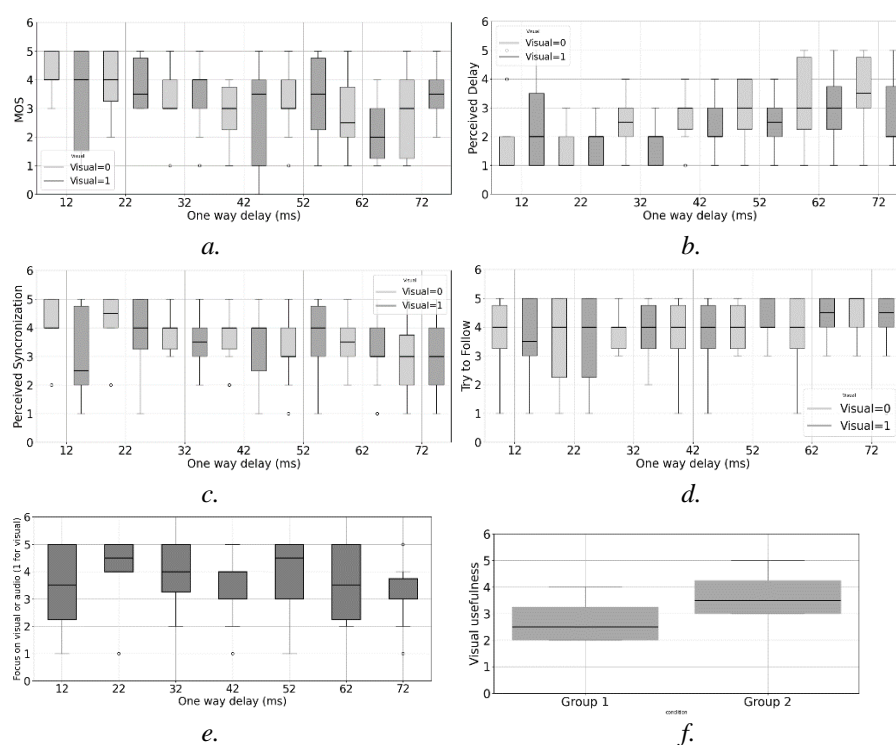
Σχετικά με το ερώτημα περί αντίληψης της καθυστέρησης, οι βαθμολογίες, γράφημα *1.b*, παρατηρείται διακριτή τάση αύξησης των βαθμολογιών με αύξηση της καθυστέρησης και για τις δύο συνθήκες, κάτι το οποίο αναμενόταν. Οι ενδιάμεσες τιμές των βαθμολογιών είναι μεγαλύτερες για τη συνθήκη χωρίς *OE*, πιθανή ένδειξη ότι η *OE* επιδρά στην αντίληψή τους σχετικά με τη καθυστέρηση του ήχου. Η διασπορά όμως παρατηρείται μικρότερη για τη συνθήκη με *OE*, ένδειξη ότι οι μουσικοί είχαν πιο ξεκάθαρη γνώμη κατά τη συνθήκη αυτή. Η ανάλυση ANOVA έδειξε σημαντική επίδραση της καθυστέρησης στις αξιολογήσεις ( $p = 0.00017$ ), σε αντίθεση με την επίδραση της οπτικής επαφής ( $p = 0.14$ ).

Στην ερώτηση περί συγχρονισμού, από το γράφημα *1.c* παρατηρείται ότι οι βαθμολογίες είναι υψηλότερες για χαμηλή καθυστέρηση και μειώνονται όσο η καθυστέρηση αυξάνεται. Παρατηρείται επιπλέον μεγαλύτερη διασπορά απαντήσεων για τη συνθήκη με *OE* κάτι που επιβεβαιώνει ότι η αυτή πιθανόν να επιφέρει σύγχυση στην αντίληψη των μουσικών. Η ανάλυση ANOVA δεν εξήγαγε σημαντικά αποτελέσματα.

Για το ερώτημα του κατά πόσο ο κάθε μουσικός προσπαθούσε να ακολουθήσει τον συν-μουσικό του στο ρυθμό οι βαθμολογίες απεικονίζονται γράφημα *1.d*. Οι βαθμολογίες έχουν σταθερή σχεδόν ενδιάμεση τιμή, ανεξάρτητη της καθυστέρησης και της οπτικής επαφής. Η διασπορά μειώνεται όσο η καθυστέρηση αυξάνεται, ένδειξη του ότι οι μουσικοί προσπαθούσαν πιο έντονα να ακολουθήσουν ρυθμικά τον συν-μουσικό τους. Η ανάλυση ANOVA δεν εξήγαγε σημαντικά αποτελέσματα.

Σχετικά με ερώτημα για το που επικεντρώθηκαν οι μουσικοί περισσότερο, επιβεβαιώνεται η προτίμησή τους στην ηχητική επικοινωνία για τις περισσότερες τιμές της καθυστέρησης όπως φαίνεται στο γράφημα *1.e*. Για τη μέγιστη τιμή της καθυστέρησης όμως παρατηρείται τάση μείωσης της βαθμολογίας, ένδειξη ότι οι μουσικοί τείνουν να στρέψουν τη προσοχή τους προς το οπτικό κανάλι με σκοπό να βρουν μηχανισμούς αντιμετώπισης της καθυστέρησης. Η ανάλυση ANOVA δεν έδειξε σημαντική επίδραση της καθυστέρησης στην αξιολόγηση της ερώτησης.

Η τελευταία ερώτηση που τέθηκε στους μουσικούς μετά το πέρας όλων των επαναλήψεων ζητούσε την αξιολόγηση της χρησιμότητας της *OE* στη ΔΜΕ. Όπως προαναφέρθηκε, οι μισοί μουσικοί έπαιξαν πρώτα χωρίς *OE* και μετά με *OE* (γκρουπ 1) και οι άλλοι μισοί το αντίθετο (γκρουπ 2). Από το γράφημα 1.f παρατηρείται ότι το γκρουπ 2 βαθμολόγησε τη χρησιμότητα της *OE* με πιο μεγάλη τιμή (3.5/5) σε σχέση με το γκρουπ 1 (2.5/5). Το γκρουπ 2 έπαιξε αρχικά με *OE* ενώ το γκρουπ 1 έπαιξε αρχικά χωρίς *OE*. Η παρατήρηση αυτή αποτελεί μια ακόμα ένδειξη της σημαντικότητας της *OE* στη ΔΜΕ.

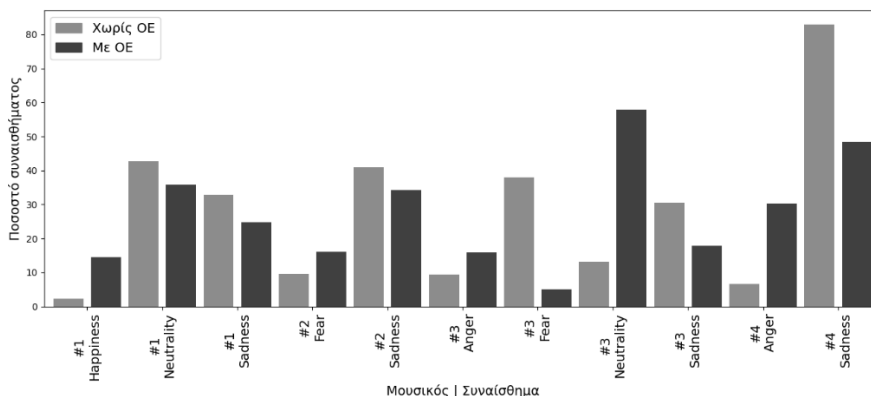


Εικόνα 2: Αξιολογήσεις των μουσικών σχετικά με την εμπειρία τους. Τα γραφήματα αντιστοιχούν στις απαντήσεις των μουσικών στην κλίμακα Likert για τις ερωτήσεις που τους τέθηκαν και οι οποίες παρατίθενται στην ενότητα 2.

#### 4.2 Επίδραση της οπτικής επαφής στις εκφράσεις των προσώπων των μουσικών

Βασιζόμενοι στην έρευνα [20], χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο DeepFace [21] για την ανάλυση των καταγεγραμμένων βίντεο των μουσικών που συμμετείχαν. Ο αλγόριθμος υπολογίζει μια εκτίμηση για κάθε ένα από τα επτά συναισθήματα τα οποία είναι ο θυμός, η απέχθεια, ο φόβος, η χαρά, η θλίψη, η έκπληξη και η ουδετερότητα, για κάθε στιγμιότυπο των βίντεο όπου απεικονιζόταν ο μουσικός κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Υπολογίσαμε τους μέσους όρους για πέντε μουσικούς, για κάθε συναίσθημα, για το σύνολο των επαναλήψεων και για κάθε συνθήκη, με και χωρίς *OE*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κάθε μουσικός έχει μια επικρατούσα έκφραση στο πρόσωπο του η οποία μπορεί να εκφράζει ένα από τα επτά συναισθήματα [20]. Ως επικρατούσα έκφραση θεωρείται η συναισθηματική έκφραση του προσώπου που έχει ένας άνθρωπος κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μιας παρατήρησης ανεξαρτήτως ερεθίσματος. Επιπλέον παρατηρήθηκαν αισθητές μεταβολές στις εκφράσεις των μουσικών σε σχέση με τη συνθήκη με και χωρίς *OE* όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3*. Με ανοιχτές γκρι μπάρες απεικονίζονται τα ποσοστά των συναισθημάτων για τη συνθήκη χωρίς *OE* ενώ με σκούρο γκρι οι τιμές για την αντίθετη συνθήκη. Αισθητές μεταβολές παρατηρούνται στον μουσικό 1 για το συναίσθημα της χαράς (αύξηση), στον μουσικό 3 σχετικά με τον θυμό (αύξηση), τον φόβο (μείωση) και την ουδετερότητα (αύξηση) και στον μουσικό 4 για τον θυμό (αύξηση), και τη θλίψη (μείωση). Η ανάλυση ANOVA δεν έδειξε σημαντικότητα της επίδρασης της *OE* στις εκφράσεις των μουσικών ( $p > 0.05$ ).



*Εικόνα 3. Απεικόνιση συναισθημάτων / μουσικό που παρουσίασαν αισθητή μεταβολή (μεγαλύτερη του 15%) για τη συνθήκη με *OE* σε σχέση με τη συνθήκη χωρίς.*

## 5. Συμπεράσματα

Πραγματοποιήσαμε μια σειρά πειραμάτων δικτυακής μουσικής εκτέλεσης με οκτώ μουσικούς μεταβάλλοντας τις συνθήκες της καθυστέρησης και της οπτικής επαφής μεταξύ τους. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων ανέδειξε στοιχεία που υποδεικνύουν ότι η οπτική επαφή είναι χρήσιμη και βελτιώνει την εμπειρία των μουσικών. Συγχρόνως όμως υπάρχουν και ευρήματα που υποδεικνύουν ότι η *OE* επιφέρει φαινόμενα σύγχυσης στους μουσικούς ειδικά όταν αυτή περιλαμβάνει καθυστέρηση. Διακριτά ευρήματα φανερόνουν ότι σε συνθήκες αυξημένης καθυστέρησης οι μουσικοί τείνουν να στρέφουν την προσοχή τους περισσότερο στο οπτικό κανάλι επικοινωνίας προκειμένου να αλληλοεπιδράσουν. Η ανάλυση των καταγεγραμμένων βίντεο ανέδειξε αισθητές μεταβολές στις εκφράσεις των μουσικών σε σχέση με τις δύο συνθήκες, με και χωρίς οπτική επαφή, σε διαφορετικά όμως συναισθήματα για κάθε μουσικό. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η *OE* επιδρά, προκαλώντας όμως ποικίλες μεταβολές στην εμπειρία τους. Αν και το δείγμα είναι



στατιστικά μικρό, υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις που αναδεικνύουν τη σημαντικότητα της οπτικής επαφής στη δικτυακή μουσική εκτέλεση.

Σαν επόμενα βήματα θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις σε μεγαλύτερο δείγμα μουσικών και θα χρησιμοποιηθούν επιπλέον αλγόριθμοι για την εξαγωγή συναισθηματικής πληροφορίας.

## 6. Αναφορές

- [1] J. Lazzaro και J. Wawrzynek, «A Case for Network Musical Performance,» 6 2001.
- [2] C. Bartlette, D. Headlam, M. Bocko και G. Velikic, «Effect of Network Latency on Interactive Musical Performance,» *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, τόμ. 24, p. 49–62, 2006.
- [3] Á. Barbosa και J. Cordeiro, «The Influence of Perceptual Attack Times in Networked Music Performance,» σε *Audio Engineering Society Conference: 44th International Conference: Audio Networking*, 2011.
- [4] C. Chafe, J.-P. Cáceres και M. Gurevich, «Effect of temporal separation on synchronization in rhythmic performance,» *Perception*, τόμ. 39, pp. 982-92, 1 2010.
- [5] D. Akoumianakis, C. Alexandraki, V. Alexiou, C. Anagnostopoulou, A. Eleftheriadis, V. Lalioti, Y. Mastorakis, A. Modas, A. Mouchtaris, D. Pavlidi, G. C. Polyzos, P. Tsakalides, G. Xylomenos και P. Zervas, «The MusiNet project: Addressing the challenges in Networked Music Performance systems,» σε *2015 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*, 2015.
- [6] C. Alexandraki, P. Koutlemanis, P. Gasteratos, G. Milolidakis, G. Vellis και D. Kotsalis, «DIAMOUSES - An Experimental Platform for Network-based Collaborative Musical Interactions.,» 2008.
- [7] K. Tsioutas, G. Xylomenos, I. Doumanis και C. Angelou, «Quality of musicians' experience in network music performance: A subjective evaluation,» σε *Audio Engineering Society Convention 148*, 2020.
- [8] P. R. Kantan, R. S. Alecu και S. Dahl, «3. The Effect of Auditory Pulse Clarity on Sensorimotor Synchronization,» 2019.
- [9] J. MacLean, J. Stirn και G. M. Bidelman, «1. Auditory-motor entrainment and listening experience shape the perceptual learning of concurrent speech,» 2024.
- [10] K. Ono, A. Nakamura και B. Maess, «Keeping an eye on the conductor: neural correlates of visuo-motor synchronization and musical experience,» *Frontiers in Human Neuroscience*, τόμ. 9, p. 154, 4 2015.
- [11] S. D'Amario, H. Daffern και F. Bailes, «(2) Synchronization in Singing Duo Performances: The Roles of Visual Contact and Leadership Instruction,» *Frontiers in Psychology*, 2018.

- [12] L. Bishop, C. Cancino-Chacón και W. Goebel, «(3) Moving to Communicate, Moving to Interact: Patterns of Body Motion in Musical Duo Performance,» *arXiv: Sound*, 2019.
- [13] J. J. S. Kim και N. J. Pellegrino, «(7) The Effect of Audio-Visual Cues in Understanding Musical Performance,» *Journal of Student Research*, 2023.
- [14] A. Antonietti, D. Cocomazzi και P. Iannello, «(6) Looking at the Audience Improves Music Appreciation,» *Journal of Nonverbal Behavior*, 2009.
- [15] J. Braasch, P. Oliveros και D. V. Nort, «(8) Telehaptic interfaces for interpersonal communication within a music ensemble,» *Journal of the Acoustical Society of America*, 2013.
- [16] W. E. Fredrickson, «(12) Band Musicians' Performance and Eye Contact as Influenced by Loss of a Visual and/or Aural Stimulus,» *Journal of Research in Music Education*, 1994.
- [17] K. Miyata, M. Varlet, A. Miura, K. Kudo και P. E. Keller, «(1) Vocal interaction during rhythmic joint action stabilizes interpersonal coordination and individual movement timing.,» *Journal of Experimental Psychology: General*, 2021.
- [18] G. Charness, U. Gneezy και M. A. Kuhn, «Experimental methods: Between-subject and within-subject design,» *Journal of economic behavior & organization*, τόμ. 81, p. 1–8, 2012.
- [19] K. Tsioutas, G. Xylomenos και Doumanis, «aretousa: a competitive audio streaming software for network music performance,» *journal of the audio engineering society*, 3 2019.
- [20] K. Tsioutas, K. Ratzos, G. Xylomenos και I. Doumanis, «Multimodal Assessment of Network Music Performance,» σε *Companion Publication of the 2021 International Conference on Multimodal Interaction*, New York, NY, USA, 2021.
- [21] Y. Taigman, M. Yang, M. Ranzato και L. Wolf, «DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification,» σε *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014.
- [22] P. D. Werner, A. J. Swope και F. J. Heide, «The Music Experience Questionnaire: development and correlates.,» *The Journal of Psychology*, τόμ. 140, pp. 329-345, 2006.
- [23] J. Brooke, «SUS: A quick and dirty usability scale,» *Usability Eval. Ind.*, τόμ. 189, 11 1995.
- [24] C. Rottondi, M. Buccoli, M. Zanoni, D. Garao, G. Verticale και A. Sarti, «Feature-Based Analysis of the Effects of Packet Delay on Networked Musical Interactions,» *Journal of the Audio Engineering Society*, τόμ. 63, pp. 864-875, 11 2015.
- [25] M. Schrepp, *User Experience Questionnaire Handbook*, 2015.
- [26] F. Rheinberg, R. Vollmeyer, S. Engster και R. Sreeramoju, «FSS - Flow Short Scale ( English Version),» 9 2023.