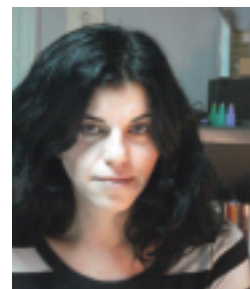


Η τεχνολογία της Δικτυακής Μουσικής Εκτέλεσης και η ανάπτυξή της στο ΤΕΙ Κρήτης Μέρος Α'



της Χρυσούλας Αλεξανδράκη

ενήμερη

Το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Τ.Ε.Ι. Κρήτης στο οποίο και υπηρετώ ως Καθηγήτρια Εφαρμογών, έχει να επιδείξει σημαντική ερευνητική δραστηριότητα στα ευρύτερα πεδία της Μουσικής Τεχνολογίας και της Ακουστικής και έχει προσελκύσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά ερευνητικά κονδύλια (ύψους >2Μ€) μέσω Εθνικών και Ευρωπαϊκών ανταγωνιστικών Προγραμμάτων. Το άρθρο αυτό χωρίζεται σε δύο μέρη που δημοσιεύονται σε δύο ξεχωριστά τεύχη του παρόντος περιοδικού. Στο πρώτο μέρος επιχειρώ να σκιαγραφήσω ένα πρόσφατο ερευνητικό πεδίο, αυτό της Δικτυακής Μουσικής Εκτέλεσης (ΔΜΕ) και να καταδείξω τις βασικές ερευνητικές προκλήσεις που προβάλλονται στην υλοποίηση συστημάτων επικοινωνίας της μουσικής σε «πραγματικό χρόνο». Στο επόμενο μέρος του άρθρου, που θα δημοσιευτεί στο επόμενο τεύχος, καταγράφω την εμπειρία μου με τα θέματα αυτά, η οποία προέρχεται από τη σύλληψη, το συντονισμό και τη συμμετοχή μου στο ερευνητικό έργο ΔΙΑΜΟΥΣΕΣ (Διαδραστικό ΚΑτανεμημένο περιβάλλον επικοινωνίας κατά τη ζωντανή ΜΟΥΣΙΚΗ Εκτέλεση) το οποίο υλοποιήθηκε κατά τα έτη 2006-2008 στα πλαίσια του Περιφερειακού Επιχειρησιακού Προγράμματος Κρήτης με ανάδοχο έργου το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Παράρτηματος Ρεθύμνου.

ΔΜΕ: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Στη συνεργατική μουσική εκτέλεση η

φυσική συν-παρουσία και η συν-εύρεση των μουσικών στον ίδιο φυσικό χώρο αποτελεί αυτονόητη προϋπόθεση. Οι μουσικοί επικοινωνούν με όλες τις αισθήσεις τους προκειμένου να ερμηνεύσουν από κοινού τις εκφραστικές απαιτήσεις ενός έργου. Κατά την πλειοψηφία τους δε, εμφανίζονται ιδιαίτερα σκεπτικοί στην ιδέα της δικτυακής μουσικής εκτέλεσης. Είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί ευθύς εξαρχής ότι η ΔΜΕ δε στοχεύει σε καμία περίπτωση να υποκαταστήσει τη ζωντανή μουσική ερμηνεία σε κοινό φυσικό χώρο. Κάθε άλλιο, στόχος της είναι να υποστηρίξει τους μουσικούς όταν η συνεύρεση τους είναι αδύνατη. Επιπρόσθετα, οι ερευνητικές πρωτοβουλίες στον τομέα αυτό επιχειρούν να εξερευνήσουν μία νέα αισθητική στη μουσική, εκείνη που προωθείται από την ανταλλαγή μουσικής κουλτούρας σε κατανεμημένα και ποικιλόμορφα μουσικά σχήματα στα οποία τα εμπλεκόμενα μέλη δε γνωρίζονται κατά ανάγκη εκ των προτέρων.

Σήμερα, παρόλη την τεχνολογική εξέλιξη και τη μαζική διάδοση του Διαδικτύου, η συνεργατική μουσική εκτέλεση μέσω δικτύου παραμένει σοβαρή ερευνητική πρόκληση. Τα κύρια τεχνολογικά εμπόδια που περιορίζουν την υλοποίηση συστημάτων που προσομοιώνουν επαρκώς τη μουσική εκτέλεση στον ίδιο χώρο, αφορούν στο γεγονός ότι τα συστήματα αυτά είναι εξαιρετικά απαιτητικά τόσο ως προς την ποιότητα των ηχητικών δεδομένων που ανταλλάσσονται, όσο και ως προς το χρόνο μετάδοσης τους, ο οποίος θα πρέπει να ελέγχεται μέσα σε αυστηρά χρονικά όρια. Ειδικότερα, τα

συστήματα αυτά είναι: **α)** εξαιρετικά ευαίσθητα σε καθυστερήσεις μετάδοσης, **β)** απαιτητικά σε διαθεσιμότητα δικτυακού εύρους ζώνης, **γ)** απαιτητικά σε συγχρονισμό σημάτων που προέρχονται από πολήλαπλους δικτυακούς κόμβους καθώς και **δ)** υπέρ-ευαίσθητα σε σφάλματα λόγω απώλειας δεδομένων κατά τη μετάδοση. Σύμφωνα με σχετικά δημοσιεύματα, η σε πραγματικό χρόνο μετάδοση ζωντανών ροών ήχου είναι μία από τις πλέον απαιτητικές εφαρμογές στην τεχνολογία δικτύων υπολογιστών [1], [2].

βεί προκειμένου το ακουστικό σήμα να φτάσει από τον ένα μουσικό στον άλλο όταν αυτοί βρίσκονται στον ίδιο φυσικό χώρο. Το διάστημα αυτό έχει μετρηθεί με ψυχοακουστικά πειράματα και υπολογίζεται περί τα 25ms, ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστό ως Ensemble Performance Threshold (EPT), [3]. Ωστόσο, κατά τη ΔΜΕ, καθυστερήσεις υπεισέρχονται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας λήψης – κωδικοποίησης – αποστολής στο δίκτυο – λήψης από το δίκτυο – αποκωδικοποίησης και τελικά αναπαραγωγής του ηχητικού σήματος σε απομακρυσμένο δικτυακό κόμβο. Στα



Σχήμα 1: Μουσικοί σε δικτυακή συνεργασία

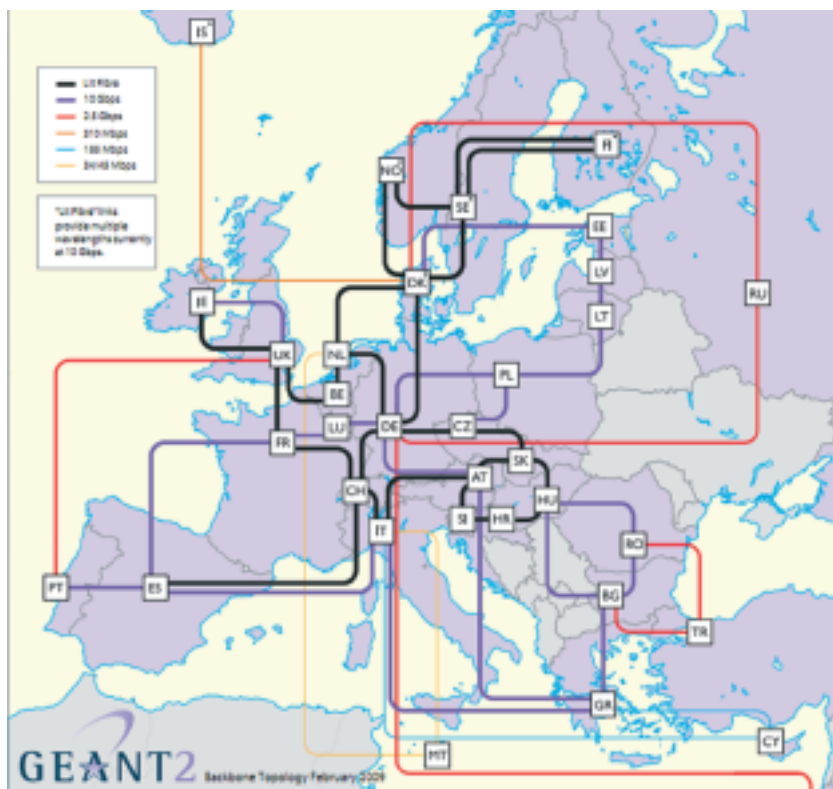
Αναλυτικότερα, σε συνθήκες ΔΜΕ, η καθυστέρηση που μεσολαμβάνει από τη στιγμή που το ηχητικό σήμα παράγεται από έναν μουσικό μέχρι να φθάσει στον άλλο οφείλεται τόσο στο υλικό και στο λογισμικό που χρησιμοποιείται κατά τη ΔΜΕ, όσο και στο ίδιο το δίκτυο υπολογιστών καθώς και σε αυτή καθαυτή τη γεωγραφική απόσταση. Με βάση τα όσα αναγράφονται στη σχετική βιβλιογραφία, η συνολική αυτή καθυστέρηση θα πρέπει να είναι συγκρίσιμη με το χρόνο που μεσολα-

σημερινά δίκτυα οπτικών ινών τα οποία επιτυγχάνουν ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων συγκρίσιμες με την ταχύτητα του φωτός (εάν φυσικά αγνοηθεί η καθυστέρηση που υπεισέρχεται λόγω δικτυακού hardware), οι δικτυακές καθυστερήσεις παρέχουν ένα εναλλακτικό μέτρο υπολογισμού της δικτυακής απόστασης δύο γεωγραφικών σημείων. Όπου φυσικά η απόσταση αυτή δεν είναι η Ευκλείδεια απόσταση. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, οι δικτυακές γραμμές που ενώνουν δύο γεωγραφικά σημεία δεν είναι ευθείες. Ενδεικτικό είναι ότι σε πειράματα

ΔΜΕ μεταξύ Ευρώπης και ΗΠΑ, ακόμη και πάνω από ακαδημαϊκά δίκτυα υψηλών προδιαγραφών, μία συνολική καθυστέρηση της τάξης των 200ms είναι αναπόφευκτη λόγω της παραπάνω απόστασης [4].

Από την άλλη πλευρά, η προσομοίωση της συν-παρουσίας των μουσικών έχει προφανείς απαιτήσεις στην ποιότητα του αναπαραγόμενου σήματος. Αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι ανέκαθεν, ο στόχος της τεχνολογίας ηχητικών συστημάτων ήταν και είναι η αναπαραγωγή του ήχου να προσομοιώνει όσο δυνατόν πιστότερα τον ήχο που καταφθάνει στους ακροατές στον συναυλιακό χώρο της ζωντανής μουσικής παράστασης. Κατά κανόνα, η βελτίωση της ποιότητας του αναπαραγόμενου ήχου έχει ως συνέπεια την αύξηση του απαιτούμενου δικτυακού εύρους ζώνης στην περι-

πτωση δικτυακής επικοινωνίας. Έτσι, ενώ για παράδειγμα ο ρυθμός μετάδοσης ψηφιακού ήχου ποιότητας CD είναι 1.41 Mbps (δηλ. $44100\text{Hz} \times 16 \text{ bit} \times 2 \text{ channels}$), τα αξιόπιστα συστήματα ΔΜΕ συνήθως χρησιμοποιούν ακόμα μεγαλύτερη ποιότητα κι επομένως ακόμα μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης (π.χ. δειγματοληψία 48000 Hz με ανάλυση δείγματος στα 32 bit). Επιπρόσθετα, οι ζωντανές συναυλίες προσομοιώνονται καλύτερα με πολυκάναλα συστήματα ήχου, τα οποία έχουν ως συνέπεια τον περαιτέρω πολλαπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι ερευνητικές ομάδες του χώρου της ΔΜΕ ολοένα και επιχειρούν τη χρήση πολυκάναλου ήχου σε συστήματα ΔΜΕ [5], [6].



Σχήμα 2: Η τοπολογία του δικτύου GEANT2 (εικόνα από: <http://www.geant2.net/server/show/nav.941>)

Κατά συνέπεια, οι απαιτήσεις σε δικτυακό εύρος ζώνης τείνουν αυξανόμενες, ειδικότερα αν αναλογιστεί κανείς ότι η ΔΜΕ δεν περιορίζεται στην ανταλλαγή ηχητικών δεδομένων. Σε περιβάλλοντα ΔΜΕ, η συνπαρουσία των μουσικών ενισχύεται από την ανταλλαγή ζωντανών ροών video καθώς και επιπρόσθετων μορφών πληροφορίας όπως είναι τα μετα-δεδομένα καθώς και τα δεδομένα ελέγχου (π.χ. έλεγχος συσκευών με χειρονομίες, ηλεκτρονικά μουσικά όργανα, κ.λ.π.). Επιπρόσθετα, καθώς ο αριθμός των διεσπαρμένων μουσικών που συμμετέχουν σε μία συνεδρία ΔΜΕ αυξάνεται, οι απαιτήσεις σε δικτυακό εύρος ζώνης αυξάνονται εκθετικά.

Τέλος, σημαντική ερευνητική πρόκληση στη ΔΜΕ αφορά στις δυνατότητες επικοινωνίας που παρέχονται στον μουσικό, πέραν αυτής καθαυτής της ανταλλαγής ζωντανών οπτικοακουστικών ροών. Ειδικότερα, η πρόκληση αυτή αναφέρεται στις δυνατότητες υποστήριξης ασύγχρονης και σύγχρονης συνεργασίας ανάμεσα σε απομακρυσμένους εταίρους πριν, μετά το πέρας αλληλά και κατά τη διάρκεια μιας μουσικής εκτέλεσης. Τέτοιες δυνατότητες αποτελούν για παράδειγμα τα μέσα εξειδικευμένης κοινωνικής δικτύωσης, η δυνατότητα μεταφοράς παγιωμένων πρακτικών συνεργασίας σε υπολογιστικό περιβάλλον (π.χ. επισημείωση παρτιτούρας σε μάθημα μουσικής), καθώς και η προώθηση νέων πρακτικών συνεργασίας που αρμόζουν καλύτερα σε δικτυακή συνεργασία (π.χ. αποστολή μελωδικών μοτίβων προς εκτέλεση κατά των αυτοσχεδιασμό κ.α.). Γίνεται επίσης αντιληπτό ότι διαφορετικά πλαίσια, ή αλλιώς σενάρια, μουσικής συνεργασίας προϋποθέτουν διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις από ένα εικονικό περιβάλλον συνεργασίας.

ΣΗΜΕΡΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΜΕ

Καθώς η μουσική είναι μία δημοφιλή και ταυτόχρονα ελκυστική περιοχή τεχνο-

λογικών εφαρμογών, ποικίλες πρωτοβουλίες έρευνας κι ανάπτυξης επενδύουν στην εξασφάλιση υποδομών που να είναι κατάλληλες για να υποστηρίζουν μουσική ερμηνεία ανάμεσα σε γεωγραφικά απομακρυσμένους χώρους. Έχει καταγραφεί [7] ότι τα πρώτα πειράματα στον ερευνητικό χώρο της ΔΜΕ ξεκίνησαν ήδη από τη δεκαετία του 1970 όταν ξεκίνησε η εμπορική διάθεση των προσωπικών υπολογιστών στις ΗΠΑ. Εντούτοις, εκείνη την περίοδο, οι διαθέσιμες δικτυακές υποδομές δεν ήταν ικανές να υποστηρίξουν ρεαλιστική ΔΜΕ.

Παρόλο που αρκετές ερευνητικές πρωτοβουλίες στο χώρο ξεκίνησαν γύρω στο 2000, εντούτοις μονάχα τα τελευταία πέντε χρόνια εμφανίστηκε μία σειρά από νέα συστήματα που την υποστηρίζουν [8]. Αναμφίβολα, ο ερχομός του ακαδημαϊκού δικτύου Internet2 στις ΗΠΑ, έκανε την όλη ιδέα της ΔΜΕ περισσότερο εφικτή γύρω στο 2000, ενώ ταυτόχρονα η πρόσφατη διαθεσιμότητα αξιόπιστων δικτυακών κορμών υψηλών ταχυτήτων στα ακαδημαϊκά ιδρύματα της Ευρώπης, επέτρεψε σε αυτές τις πρωτοβουλίες να εξαπλωθούν και να γίνουν ευρύτερα διαθέσιμες. Το Jacktrip της ερευνητικής ομάδας SoundWIRE του Πανεπιστημίου του Stanford [9] ήταν ένα από τα πρώτα διεθνώς ερευνητικά προϊόντα που υποστηρίζουν ΔΜΕ, ενώ πλέον διατίθεται ως λογισμικό ανοικτού κώδικα. Παρόμοιες πρωτοβουλίες αποτελούν το έργο Distributed Immersive Performance που αποτελεί μία πρωτοβουλία ερευνητών του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνια [10], το οποίο εστιάζει στη μετάδοση πολυκάναλου ήχου, καθώς και το πιο πρόσφατο λογισμικό Soundjack του Alexandre Carot στο οποίο επιχειρείται για πρώτη φορά ο περιορισμός του απαιτούμενου εύρους ζώνης με χρήση συμπιεστή ήχου χαμηλής καθυστέρησης [11].

Επιπρόσθετα με τις ακαδημαϊκές αυτές πρωτοβουλίες, μια σειρά από εναλλακτικά εργαλεία για ΔΜΕ έχουν εμφανιστεί σε πιο ευρέως διαθέσιμο πλαίσιο, μέσω εμπορι-

κών καθώς και ελεύθερα διαθέσιμων εφαρμογών. Τέτοια εργαλεία είναι για παράδειγμα αυτά που διατίθενται από τις πρωτοβουλίες eJamming AUDiiO [12], Musigy και NINJAM [13]. Η προσέγγιση σε αυτά τα συστήματα βασίζεται στο παράδειγμα της κοινότητας του Napster [14], όπου το έργο της κοινότητας είναι η δημιουργία της μουσικής αντί της ανταλλαγής της. Στα συστήματα αυτά, οι τεχνικές απαιτήσεις σε ποιότητα και χρονισμό είναι λιγότερο αυστηρές, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ζητείται από τους ερμηνευτές να εκτελούν το μουσικό τους μέρος αγνοώντας τον ήχο που καταφθάνει από τους εταίρους τους με την όποια δικτυακή καθυστέρηση.

του Παραρτήματος Χανίων, είχε εξαρχής στόχους οι οποίοι διευρύνονται πέρα από την υλοποίηση ενός λογισμικού για ταχεία λήψη και μετάδοση δεδομένων. Οι στόχοι και οι καινοτομίες του έργου, ο τρόπος υλοποίησής τους σε ενιαία πλατφόρμα αλλά και η τελική αξιολόγηση της πλατφόρμας αυτής από επαγγελματίες μουσικούς αναλύονται στο επόμενο τεύχος του περιοδικού. Στην κοινοπραξία του έργου ΔΙΑΜΟΥΣΕΣ συμμετείχαν επίσης το Τμήμα Μηχανικών ΗΥ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών, η Ελληνική Εταιρία Τηλεπικοινωνιών και Τηλεματικών Εφαρμογών Forthnet Α.Ε. και η Ανώνυμη Εκπαιδευτική Εταιρία ΑΚΜΗ. Το έργο ΔΙΑΜΟΥΣΕΣ υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος ΠΕΠ Κρήτης και



Σχήμα 3: Επίδειξη της πλατφόρμας του ΔΙΑΜΟΥΣΕΣ σε Ημερίδα στην Αθήνα.

Η τεχνολογική πλατφόρμα του ΔΙΑΜΟΥΣΕΣ της οποίας η υλοποίηση έγινε εξ' ολοκλήρου στο ΤΕΙ Κρήτης με συντονιστή το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Παραρτήματος Ρεθύμνου και σημαντική συνεισφορά από το Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, αλλά και το Τμήμα Ηλεκτρονικής

συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και την Περιφέρεια Κρήτης με τελικό δικαιούχο τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Gu, X.; Dick, M.; Kurtisi, Z.; Noyer, U.; Wolf, L. "Network-centric Music Performance: Practice and Experiments", IEEE Communications Magazine, vol. 43, no.6, June 2005.
- [2] Kramer, W. T. C. "SCinet: Testbed for High-Performance Networked Applications," IEEE Comp. Mag., vol. 35, no. 6, 2002.
- [3] Chafe, C.; Gurevich, M.; Leslie, G.; Tyan, S. "Effect of time delay on ensemble accuracy", Proc. International Symposium on Musical Acoustics, Nara, Japan, 2004.
- [4] Carôt, A., and C. Werner. 2007. "Network Music Performance - Problems, Approaches and Perspectives." Available online at: http://globalvillagemusic.net/2007/wp-content/uploads/carot_paper.pdf
- [5] Ceres J.P. and Chafe C. 2009. "JackTrip/SoundWIRE Meets Server Farm." In Proceedings of 6th Sound and Music Computing Conference, pages 95-98, Porto, Portugal, 2009.
- [6] Kurtisi Z., Gu X. and Wolf L. 2006. "Enabling Network-centric Music Performance in Wide Area Networks", in Communications of the ACM, Special Issue on Entertainment Networking: Recreational Use of IP Networks, Vol. 49, No. 11, pages 52-54, November 2006
- [7] Föllmer, G. 2005. "Electronic, aesthetic and social factors in Net music." Organised Sound, 10 (3): 185-192.
- [8] Networked Music Performance - - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Net->

worked_music_performance

- [9] Ceres, J.-P. and Chafe, C., "Jack-Trip: Under the Hood of an Engine for Network Audio." Proceedings of International Computer Music Conference, Montreal, 2009.
- [10] Chew E.; Zimmermann, R.; Sawchuk, A.A.; Kyriakakis, C.; Papadopoulos, C.; François, A.; Kim, G.; Volk, A. "Musical Interaction at a Distance: Distributed Immersive Performance", Proceedings of the 4th Open Workshop of MUSICNETWORK: Integration of Music in Multimedia applications, Barcelona, Spain, 2004.
- [11] Kramer, U., et al. 2007. "Network Music Performance with Ultra-Low-Delay Audio Coding under Unreliable Network Conditions." Proceedings of the 123rd Audio Engineering Society Convention. New York: Curran Associates, pp. 338-348.
- [12] eJAMMING AUDiiO - The Collaborative Network for Musicians Creating Together Online in Real Time, <http://www.ejamming.com/>
- [13] NINJAM - Novel Intervallic Network Jamming Architecture for Music, <http://ninjam.com/>
- [14] Napster page, <http://music.napster.com/>